



# WARTA

## SUMBER DAYA LAHAN PERTANIAN

01

**Pemanfaatan Teknologi Pertanian Cerdas Terhadap Pengelolaan Rumah Kaca**

02

**Implementasi SNI 9292:2024 dan SNI 9302:2024 untuk Optimalisasi Jadwal Tanam dan Efisiensi Air pada Budidaya Bawang Putih**

03

**Sinergi Antara Standar Dan Kearifan Lokal Dalam Sistem Surjan Di Lahan Rawa Lebak**

04

**Pengelolaan Limbah Ternak: Solusi Efektif untuk Menekan Emisi Gas Metana**

05

**Peran Biopori Dalam Pengelolaan Sumberdaya Air Dan Produktivitas Tanah Pertanian**

06

**Pemanfaatan PGPR sebagai Inovasi Bioteknologi untuk Optimalisasi Pertanian Berkelanjutan**

07

**Pemupukan Presisi Jagung dan Kedelai Berbasis KNN**

Di tengah tantangan iklim dan kebutuhan pangan berkelanjutan, inovasi pertanian hadir secara terpadu: teknologi cerdas mengoptimalkan rumah kaca, SNI 9292:2024 dan 9302:2024 menyempurnakan jadwal tanam dan efisiensi air bawang putih, sementara sistem Surjan memadukan standar dengan kearifan lokal di lahan rawa. Pengelolaan limbah ternak menekan emisi metana, biopori memperkuat resapan air dan kesuburan tanah, PGPR mendorong pertumbuhan tanaman secara alami, dan pemupukan presisi berbasis KNN untuk jagung serta kedelai menjadikan pertanian lebih akurat, efisien, dan ramah lingkungan—semua berpadu dalam ekosistem pertanian masa depan yang cerdas dan berkelanjutan.



Kementerian Pertanian

Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian

Balai Besar Perakitan dan Modernisasi Sumber Daya Lahan Pertanian



[sdlahan.brmp.pertanian.go.id](https://sdlahan.brmp.pertanian.go.id)



[brmpsdlahan](https://brmpsdlahan)



Warta

# SUMBER DAYA LAHAN PERTANIAN

Vol. 2 No. 3, Desember 2025

## Pemanfaatan Teknologi Pertanian Cerdas Terhadap Pengelolaan Rumah Kaca

Iman Muhardiono<sup>(1)</sup>, Naadaa Rachmawati<sup>(1)</sup>, M. Arif Bagus Dewanto<sup>(2)</sup>, Khairunnissa Zahran Ansyafa<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Balai Perakitan dan Pengujian Agroklimat dan Hidrologi Pertanian, Bogor

<sup>(2)</sup>Teknologi Rekayasa Komputer, Sekolah Vokasi IPB-Magang BRMP Agroklimat dan Hidrologi Pertanian

### RINGKASAN

Rumah Kaca atau rumah tanaman merupakan struktur bangunan yang menyerupai rumah tertutup berfungsi sebagai wadah pertumbuhan tanaman yang sesuai dengan kebutuhan lingkungan tumbuh tanaman. Penggunaan rumah kaca memberikan berbagai keuntungan, yaitu dapat mengatur iklim di dalam rumah kaca, sehingga tanaman tidak dipengaruhi oleh cuaca yang ada di luar. Namun, penerapan rumah kaca ini tetap tidak luput dari tantangan yang dihadapi. Salah satu tantangan terbesar yang terus dihadapi oleh para petani adalah hama, yang dapat merusak tanaman dan mengancam hasil panen. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu adanya pengendalian hama seperti pemberian pestisida secara otomatis yang dapat diintegrasikan dengan robotika. Hasil dari analisis ini akan

menunjukkan apakah penggunaan robot lebih efisien dalam hal efisiensi waktu biaya yang dibutuhkan. Sistem otomatis ini diharapkan dapat membuat penyiraman pestisida lebih efisien secara waktu dan biaya operasional yang dibutuhkan lebih murah.

### I. PENDAHULUAN

Menanggapi ancaman krisis pangan, pemerintah perlu memperkuat produksi hasil pertanian dan ketersediaan pangan dengan usaha pertanian cerdas. Pertanian cerdas adalah sebuah metode pertanian cerdas berbasis teknologi yang menggunakan *Artificial Intelligence* (AI) untuk memudahkan petani melakukan pekerjaan. Digitalisasi dalam bidang pertanian telah memasuki era revolusi 4.0. Revolusi pertanian 4.0 yang terdiri dari internet kecerdasan buatan, mesin layanan antarmuka, teknologi robotik dan sensor serta teknologi 3 dimensi *printing* (Rachmawati, 2020).

Salah satu tantangan terbesar yang terus dihadapi oleh para petani dalam berusaha tani adalah hama dan penyakit, yang dapat merusak tanaman dan mengancam hasil panen. Penggunaan metode pengendalian hama yang konvensional seringkali tidak efisien dan memerlukan tenaga kerja ekstra. Penyemprotan pestisida secara manual untuk pengendalian hama pada lahan sayur tidak efisien, terutama pada tempat yang berukuran luas (Dwi *et al.*, 2022). Untuk mengatasi masalah tersebut perlu adanya pengendalian hama seperti pemberian pestisida secara otomatis yang dapat diintegrasikan dengan robotika agar dapat secara mandiri melakukan penyiraman pestisida.

#### DAFTAR ISI

Pemanfaatan Teknologi Pertanian Cerdas Terhadap Pengelolaan Rumah Kaca .....	1
Implementasi SNI 9292:2024 dan SNI 9302:2024 untuk Optimalisasi Jadwal Tanam dan Efisiensi Air pada Budidaya Bawang Putih .....	5
Sinergi Antara Standar Dan Kearifan Lokal Dalam Sistem Surjan Di Lahan Rawa Lebak .....	10
Pengelolaan Limbah Ternak: Solusi Efektif untuk Menekan Emisi Gas Metana .....	15
Peran Biopori Dalam Pengelolaan Sumberdaya Air Dan Produktivitas Tanah Pertanian .....	19
Pemanfaatan PGPR sebagai Inovasi Bioteknologi untuk Optimalisasi Pertanian Berkelanjutan .....	24
Pemupukan Presisi Jagung dan Kedelai Berbasis KNN .....	28

Robot ini didesain untuk bergerak secara otomatis mengikuti jalur yang telah ditentukan menggunakan teknologi sensor. Selain kemampuan navigasi otonom, robot juga dilengkapi dengan perangkat penyemprot yang dapat mendeteksi hama dan memberikan perlakuan pestisida secara efisien.

Penggunaan inovasi robotik yang dilengkapi kecerdasan buatan di sektor pertanian dapat menekan dampak negatif terhadap lingkungan, meningkatkan efisiensi, serta meminimalkan risiko cedera. Inovasi ini mencakup tahapan mulai dari pembibitan hingga panen, termasuk penyemprotan tanaman (Colantoni *et al.*, 2018). Penerapan otomatisasi pada berbagai aktivitas pertanian, seperti penyemprotan presisi, bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan larutan semprot agar hasil yang diperoleh maksimal, sekaligus menurunkan biaya produksi, meningkatkan efisiensi, mengurangi dampak terhadap lingkungan, serta menjamin keselamatan dan kesehatan operator.

Penerapan teknologi robotik dan mekatronik di bidang pertanian memungkinkan penyemprotan pestisida otomatis menggunakan mesin bertenaga surya yang beroperasi tanpa kontak langsung dengan operator (Poudel *et al.*, 2017). Fachri (2019) mengembangkan robot penyemprot pestisida untuk tanaman hortikultura yang dilengkapi nosel di sisi kiri dan kanan, serta dikendalikan melalui remot berbasis *Bluetooth* dengan jangkauan hingga 15 meter tanpa hambatan. Ekaprasetyo dan Pambudi (2020) merancang robot empat roda untuk penyiraman tanaman secara otomatis menggunakan sistem navigasi *line follower*. Robot ini melakukan penyemprotan pada pot berdasarkan data suhu dan kelembaban tanah yang dikirim melalui komunikasi nirkabel berbasis ESP8266. Sementara itu, Cho dan Ki (1999) memanfaatkan teknologi mesin pengindra pada mesin penyemprot otonom, di mana jarak antara objek dan *sprayer* diatur menggunakan masukan dari sensor ultrasonik.

Tujuan penulisan ini adalah untuk memaparkan perancangan dan pembuatan robot penyemprot pestida dengan teknologi jalur navigasi dan kontrol pengendali.

## II. METODE PELAKSANAAN

### 1. Waktu dan Lokasi

Pembuatan "Robot Penyemprotan Pestisida dengan Teknologi Jalur Navigasi dan Kontrol Pengendali" dilaksanakan mulai tanggal 1 Agustus 2024 s.d. 15 November 2024 bertempat di Rumah Kaca BRMP Agroklimat dan Hidrologi.

### 2. Analisa Kebutuhan

Alat yang digunakan dalam kegiatan ini berupa Gerinda, Solder, bor tangan, mesin las, dan *tool kit*. Sedangkan komponen utama dalam pembuatan projek ini adalah ESP 32, Sensor *Infrared*, Pompa DC, dan Motor DC.

## 3. Teknik Pengumpulan Data dan Analisa Data

### a. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian yang dilakukan dalam proyek ini menggunakan pendekatan yang menggabungkan metode kualitatif dan kuantitatif. Penelitian kualitatif bersifat deskriptif dan cenderung menggunakan pendekatan induktif dalam analisisnya. Pendekatan kuantitatif dilakukan melalui uji coba dan pengukuran yang melibatkan analisis data terkait perbandingan waktu yang diperlukan untuk satu kali penyemprotan menggunakan robot berbasis sensor inframerah dan warna dibandingkan dengan metode penyemprotan manual.

### b. Analisa Data

- Analisis Deskriptif : Dilakukan untuk memahami karakteristik dan kebutuhan pengguna potensial dengan menganalisis data yang diperoleh dari berbagai teknik pengumpulan data seperti studi literatur, wawancara, observasi, dan survei.
- Analisis Komparatif : Melakukan perbandingan dengan alat kalibrasi dan alat sistem kontrol yang akurat untuk mengidentifikasi kelebihan, kekurangan, serta peluang untuk meningkatkan desain dan fitur dari alat yang akan dibuat. Menganalisis terkait perbandingan data hasil yang diperoleh terhadap waktu yang dilakukan saat penyemprotan dengan robot dan dilakukan manual, penggunaan pestisida, hasil atau produksi tanaman, dan kebutuhan pestisida.

## 4. Prosedur Kerja

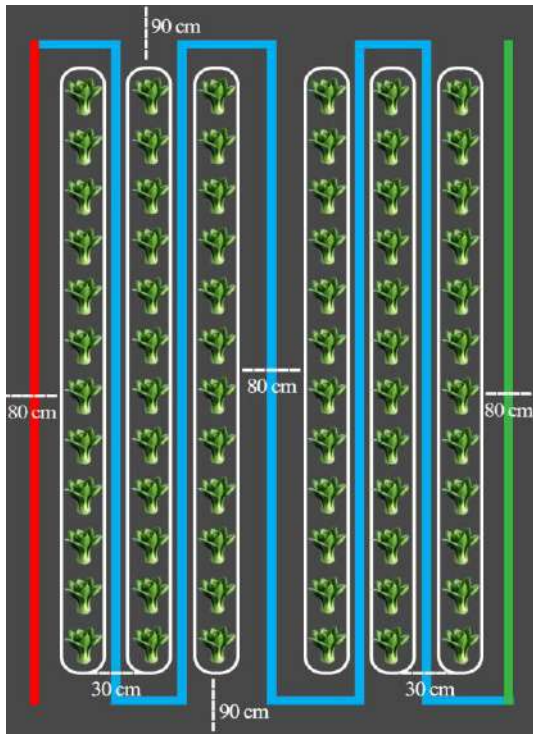
Prosedur pelaksanaan proyek ini melalui beberapa tahapan yaitu : metode, desain, pengembangan, pengujian, pelaksanaan, dan peninjauan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras diawali dengan membuat diagram alir, dengan beberapa asumsi sebagai berikut ; ketika robot dinyalakan, pertama-tama robot akan mendeteksi warna garis di bawahnya, dan warna garis tersebut akan menentukan *nozzle* mana yang akan diaktifkan saat robot bergerak. Selanjutnya, robot akan menerima input dari sensor inframerah, yang akan memandu robot mengikuti garis putih yang telah disiapkan di rumah kaca. Sensor inframerah akan memberikan nilai RENDAH ketika mendeteksi garis berwarna putih.

Adapun denah jalur yang dilalui robot pada rumah kaca ditunjukkan pada Gambar 1.

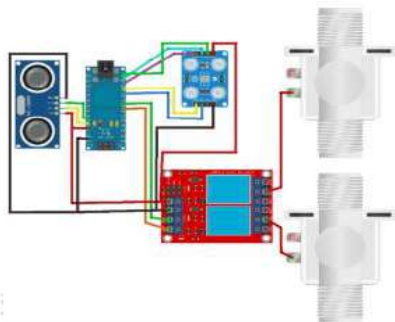


Gambar 1. Denah Jalur Rumah Kaca

Jalur robot dibedakan dengan 3 warna yang menggunakan sensor warna TCS 3200. Pada jalur warna merah, robot harus menyalakan nozzle sebelah kanan dan mematikan nozzle sebelah kiri. Pada jalur biru, robot harus menyalakan kedua nozzle kanan dan kiri. Sedangkan, pada jalur berwarna hijau, robot harus menyalakan nozzle sebelah kiri dan mematikan nozzle sebelah kanan. Hal ini dilakukan untuk memastikan robot hanya menyiram pada jalur yang terdapat tanaman sehingga, pestisida yang dikeluarkan dapat lebih hemat (Bagus, 2024).

Skema elektronik dalam proyek ini adalah dengan menggunakan 2 mikrokontroler, dikarenakan pada ESP 32 memiliki jumlah pin yang terbatas sehingga diperlukan tambahan dari Arduino Nano. Pada rangkaian tambahan di Arduino Nano (Gambar 2) terdapat beberapa komponen dan kegunaannya yaitu;

- Sensor warna TCS 3200 untuk membedakan jalur.
- Relay untuk menyalakan selenoid.
- Selenoid sebagai katup air.

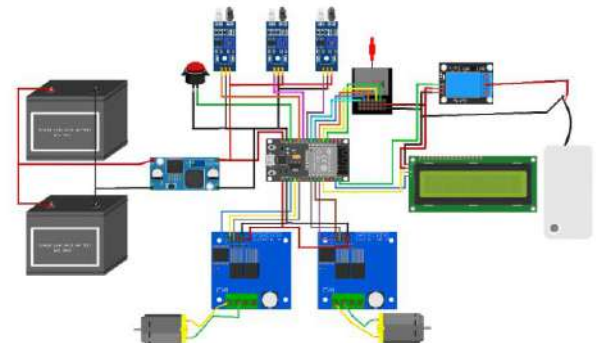


Gambar 2. Rangkain Arduino Nano

Pada rangkaian utama yang ditunjukkan pada Gambar 3, terdapat ESP 32 sebagai mikrokontroler utama yang membaca input dari sensor infrared dan memberikan

output ke Motor penggerak dan pompa DC. Pada rangkaian ini terdapat komponen utama, antara lain :

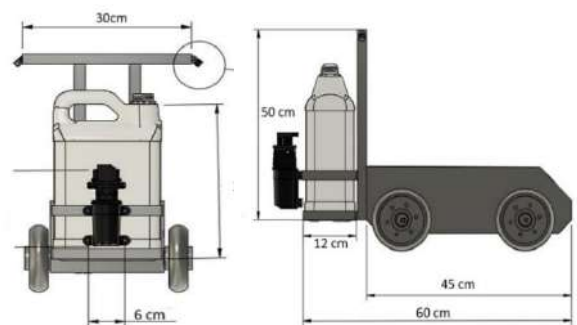
- ESP 32 sebagai mikrokontroler
- Sensor infrared untuk membaca garis
- Motor driver BTS7960 untuk mengatur arah motor DC
- Relay sebagai saklar pompa
- Baterai 12V 9Ah untuk daya



Gambar 3. Rangkaian ESP32

Kebutuhan daya yang diperlukan pada robot ini dengan menggunakan 2 baterai 12V – 9 Ah, yang dirangkai secara paralel sehingga menghasilkan total tegangan 12V – 18Ah

Perancangan bentuk robot, ukuran robot, dan tempat menaruh komponen elektronik dibuat dengan mengacu pada ukuran lorong rumah kaca yang hanya berukuran 35 cm. Robot dirancang memiliki lebar 30 cm dan panjang 60 cm sehingga dapat bermanuver dengan mudah di dalam rumah kaca. Gambar 4 menunjukkan rancangan dimensi robot.



Gambar 4. Desain Dimensi Robot

## 2. Implementasi

Proses pengimplementasian terdiri dari pembuatan rangka, pembuatan badan robot, perakitan komponen elektronik, dan pemrograman. Rangka robot dibuat dengan besi hollow ukuran 2 x 2cm, yang berfungsi untuk menyangga badan robot agar kuat menahan beban yang dibawa. Kemudian, badan robot dibuat dari plat alumunium dengan ketebalan 1 mm yang berfungsi untuk melindungi komponen elektronik didalam dari benturan ataupun terkena siraman air. Perakitan komponen elektronik berupa proses solder komponen dan pemasangan pada board. Setelah itu, proses pemrograman dapat dilakukan untuk memastikan integrasi yang baik antara perangkat keras dan perangkat lunak agar dapat beroperasi dengan sinkron.





Gambar 5. (a)Tampak Depan Robot ; (b)Tampak Belakang Robot

Hasil implementasi robot yang telah selesai ditunjukan pada Gambar. Gambar 5a. menunjukkan tampak depan robot yang terdapat LCD untuk menampilkan kapasitas pestisida yang ada pada wadah penampung air. Pada Gambar 5b. menunjukkan bagian tampak belakang yang memiliki tempat untuk menyimpan wadah penampungan air yang berisi pestisida dan terdapat tiang penyangga selang nozzle pestisida.

### 3. Review

Pengujian dilakukan dengan membandingkan penyiraman robot dengan manusia. Hasil pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Percobaan Pertama

Pengujian	Robot	Manusia
Waktu Tempuh	3.48 Menit	4.50 Menit
Kapasitas Pestisida	4.5 Liter	15 Liter
Pestisida Dikeluarkan	2.30 Liter	3.5 Liter
Kontur Jalan Bergelombang	Terhambat	Lancar
Biaya Pengisian Daya	Rp 34	-
Upah Tenaga Kerja	-	Rp 10.000

Tabel 2. Percobaan Kedua

Pengujian	Robot	Manusia
Waktu Tempuh	4.01 Menit	5.30 Menit
Kapasitas Pestisida	4.5 Liter	15 Liter
Pestisida Dikeluarkan	2.35 Liter	4.2 Liter
Kontur Jalan Bergelombang	Terhambat	Lancar
Biaya Pengisian Daya	Rp 45	-
Upah Tenaga Kerja	-	Rp 10.000

Tabel 3. Percobaan Ketiga

Pengujian	Robot	Manusia
Waktu Tempuh	3.55 Menit	4.10 Menit
Kapasitas Pestisida	4.5 Liter	15 Liter
Pestisida Dikeluarkan	2,30 Liter	3,8 Liter
Kontur Jalan Bergelombang	Terhambat	Lancar
Biaya Pengisian Daya	Rp 34	-
Upah Tenaga Kerja	-	Rp 10.000

Robot penyiram pestisida unggul dalam efisiensi waktu, penggunaan pestisida, dan biaya operasional dibandingkan penyiraman manual oleh manusia, dengan hasil yang lebih konsisten karena program otomatis dan

penghilangan faktor manusia. Keuntungan utama robot penyiram pestisida meliputi waktu penyiraman yang lebih cepat, penggunaan pestisida yang lebih hemat, biaya operasional yang lebih rendah, serta konsistensi hasil yang memudahkan pengelolaan biaya. Meskipun memberikan banyak keuntungan, robot penyiram pestisida memiliki keterbatasan seperti kapasitas pestisida yang kecil, kesulitan beradaptasi di medan berbatu, dan akurasi penyemprotan yang perlu ditingkatkan.

## IV. PENUTUP

Robot penyiram pestisida terbukti lebih efisien daripada metode manual dalam hal waktu, penggunaan pestisida, dan biaya operasional karena konsistensi programnya. Konsistensi yang tinggi pada robot penyiram memungkinkan perencanaan dan pengelolaan sumber daya yang lebih mudah dan akurat. Namun, tidak dipungkiri kekurangan pada kapasitas pestisida yang terbatas, dan kurang adaptif di medan berbatu, serta arah semprotan pada robot belum sempurna. Meskipun demikian, robot ini menawarkan penghematan biaya dan efektivitas yang signifikan, dan masih berpotensi lebih baik dengan pengembangan lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bagus, MA. 2024. Integrasi Sistem Line Follower pada Robot Penyemprot Pestisida Otomatis untuk Efisiensi Waktu Penyiraman Pestisida Tanaman Pakcoy. Sekolah Vokasi IPB
- Cho SI, Ki H. 1999. Autonomous speed sprayer using machine vision and fuzzy logic. *ASAE*. 42(40): 1137-1143
- Colantoni A, Monarca D, Laurendi V, Villarini M, Gambella F, Cecchini M. 2018. Smart machines, remote sensing, precision farming, processes, mechatronic, materials and policies for safety and health aspects. *Agriculture*. 8(47): 1-14
- Dwi IK, Oka A, Putu B, Nirmala W, Adi M, Putra P. 2022. "Model IoT Berbasis Fuzzy Tsukamoto Untuk Penyemprotan Pestisida Otomatis Pada Tanaman Sayur Kubis 923-1700-1-Pb. :141-150
- Ekaprasetyo A, Pambudi WS. 2020. Prototype rancang bangun robot penyiram tanaman otomatis dengan kendali fuzzy. *MATRIK*. 22(1): 102-109
- Fachri Z. 2019. Rancang bangun robot penyemprot pestisida (robot sida) pada tanaman hortikultura. *J-Innovation*. 8(1): 5-8
- Poudel B, Sapkota R, Shah RB, Subedi N, Karishna A. 2017. Design and fabrication of solar powered semi automatic pesticide sprayer. *IRJET*. 4(7)
- Rachmawati, RR. 2020. Forum Penelitian Agro Ekonomi, Vol. 38 No. 2: 137-154. DOI: <http://dx.doi.org/10.21082/fae.v38n2.2020.137-154>

# Implementasi SNI 9292:2024 dan SNI 9302:2024 untuk Optimalisasi Jadwal Tanam dan Efisiensi Air pada Budidaya Bawang Putih

Nurwindah Pujilestari<sup>(1)</sup>, Kharmila Sari Hariyanti<sup>(1)</sup>, Asti Putri Meilina<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Balai Perakitan dan Modernisasi Agroklimat dan Hidrologi – Kementerian Pertanian

<sup>(2)</sup>Fakultas Pertanian – Universitas Gadjah Mada

[n\\_pujilestari@yahoo.com](mailto:n_pujilestari@yahoo.com), [Kharmilas36@gmail.com](mailto:Kharmilas36@gmail.com), [astiputrimeilina@mail.ugm.ac.id](mailto:astiputrimeilina@mail.ugm.ac.id)

## RINGKASAN

Kecamatan Sembalun, Nusa Tenggara Barat, merupakan sentra produksi bawang putih nasional yang memegang peranan strategis dalam upaya mengurangi ketergantungan impor. Namun, produktivitasnya masih menghadapi tantangan akibat variabilitas iklim dan praktik budidaya yang belum optimal. Makalah ini mendemonstrasikan implementasi Standar Nasional Indonesia (SNI) terbaru, yaitu SNI 9292:2024 tentang Metode Penghitungan Kebutuhan Air Tanaman di Lahan Kering dan SNI 9302:2024 tentang Spesifikasi Informasi Geospasial – Sumberdaya Agroklimat untuk Penentuan Pola Tanam, sebagai kerangka kerja ilmiah untuk optimalisasi jadwal tanam dan efisiensi air. Analisis berdasarkan SNI 9302:2024 (Badan Standardisasi Nasional, 2024) mengklasifikasikan iklim Sembalun ke dalam zona D3 menurut Oldeman, dengan 4 bulan basah dan 6 bulan kering berturut-turut, yang sangat ideal untuk budidaya bawang putih. Berdasarkan klasifikasi ini, waktu tanam optimal direkomendasikan pada periode April hingga Mei untuk memastikan fase pematangan umbi jatuh pada musim kering. Selanjutnya, penerapan SNI 9292:2024 (Badan Standardisasi Nasional, 2024) menghitung total kebutuhan irigasi bawang putih selama satu musim tanam sebesar 362,5 mm, dengan fase pembentukan umbi menjadi periode paling kritis yang membutuhkan pasokan air tertinggi. Implementasi kedua standar ini terbukti mampu menyediakan dasar pengambilan keputusan yang presisi, mengubah manajemen pertanian dari pendekatan intuitif menjadi berbasis data, serta menawarkan model yang dapat direplikasi untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan hortikultura di Indonesia.

## II. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia terus mendorong akselerasi modernisasi pertanian sebagai pilar utama untuk mencapai swasembada pangan nasional (Suryanto et al., 2023). Salah satu fokus utama adalah peningkatan daya saing komoditas hortikultura, di mana bawang putih (*Allium sativum* L.) menjadi sorotan karena volume impornya yang masih sangat tinggi. Ketergantungan pada pasokan luar negeri tidak hanya menguras devisa, tetapi juga menciptakan kerentanan dalam rantai pasok pangan nasional. Oleh karena itu, peningkatan produksi bawang putih domestik yang berkualitas menjadi sebuah imperatif strategis.

Kecamatan Sembalun di Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat, telah lama dikenal sebagai salah satu sentra produksi bawang putih unggulan di Indonesia. Berada di dataran tinggi dengan elevasi antara 390 hingga 1180 meter di atas permukaan laut (mdpl), wilayah ini memiliki kondisi agroklimat yang secara alami sangat mendukung pertumbuhan bawang putih (Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Timur, 2024; Daniyantara, 2015). Suhu udara yang sejuk dan kondisi tanah yang subur menjadikan Sembalun sebagai kawasan dengan potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut (Ramadhan et al., 2020).

Meskipun demikian, potensi alamiah tersebut belum sepenuhnya termanfaatkan secara optimal. Praktik pertanian yang masih banyak mengandalkan kalender tanam tradisional—berdasarkan pengetahuan turun-temurun—kini semakin rentan terhadap risiko kegagalan. Perubahan iklim global menyebabkan pergeseran pola hujan dan peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem, sehingga kalender tanam konvensional tidak lagi dapat diandalkan (Rusmayadi, 2021). Kesalahan dalam penentuan waktu tanam dapat berakibat fatal, seperti serangan penyakit jamur akibat hujan berlebih pada fase pematangan umbi atau kekeringan pada fase vegetatif kritis. Selain itu, manajemen air yang tidak efisien sering kali menyebabkan pemborosan sumber daya dan biaya produksi yang lebih tinggi.

Menjawab tantangan tersebut, diperlukan sebuah pergeseran menuju pertanian presisi yang berbasis data dan ilmu pengetahuan. Pemerintah, melalui Badan Standardisasi Nasional (BSN), telah menerbitkan dua standar relevan: SNI 9302:2024 tentang SIG-Sumberdaya Agroklimat untuk Penentuan Pola Tanam dan SNI 9292:2024 tentang Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman. Kedua standar ini menyediakan metodologi yang sistematis dan terukur untuk menganalisis kesesuaian iklim dan mengelola kebutuhan air tanaman secara efisien (Badan Standardisasi Nasional, 2024). Studi ini bertujuan untuk mendemonstrasikan implementasi praktis kedua SNI tersebut dalam konteks budidaya bawang putih di Sembalun. Dengan demikian, makalah ini tidak hanya menjadi sebuah kajian akademis, tetapi juga berfungsi sebagai panduan aplikatif yang menjembatani antara kebijakan strategis nasional mengenai modernisasi pertanian dengan implementasi teknis di tingkat lapangan, sejalan dengan rekomendasi untuk menerapkan *smart agriculture* dalam penentuan kalender tanam (Rusmayadi, 2021).

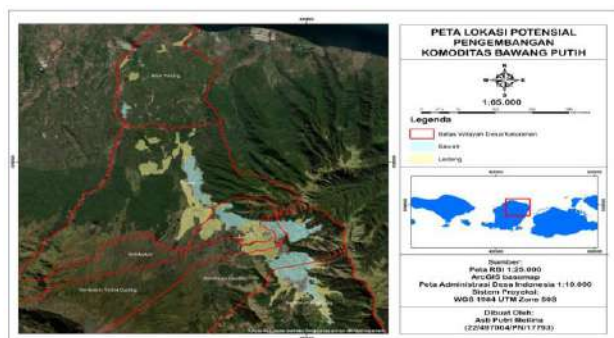
## II. POTENSI DAN KARAKTERISTIK AGROKLIMAT SEMBALUN: LANDASAN KALENDER TANAM PRESISI (SNI 9302:2024)

Analisis karakteristik agroklimat berdasarkan SNI 9302:2024 (Badan Standardisasi Nasional, 2024) merupakan langkah fundamental untuk menyusun kalender tanam yang presisi dan adaptif. Analisis ini mengintegrasikan data geografis, penggunaan lahan, dan parameter iklim jangka panjang untuk menentukan jendela waktu tanam yang paling menguntungkan bagi pertumbuhan dan produksi bawang putih.

### 1. Profil Geografis dan Potensi Lahan

Kecamatan Sembalun secara administratif terletak di Kabupaten Lombok Timur, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Wilayah ini memiliki luas total sekitar 21.708 hektar, dengan sebagian besar arealnya merupakan lahan pertanian (Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Timur, 2024). Dari total lahan pertanian seluas 4.154,48 hektar, terdapat 963,76 hektar lahan berupa ladang atau tegalan. Lahan ladang ini, dengan karakteristik tanah yang umumnya memiliki drainase baik, menjadi area paling potensial untuk pengembangan bawang putih, yang tidak toleran terhadap genangan air (Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Timur, 2024).

Distribusi lahan ladang ini tidak merata di seluruh desa. Data statistik menunjukkan bahwa Desa Sajang memiliki luas ladang terbesar (394,60 ha), diikuti oleh Desa Sembalun (323,85 ha) dan Desa Sembalun Lawang (307,43 ha) (Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Timur, 2024). Identifikasi berbasis data ini sangat krusial karena memungkinkan alokasi sumber daya yang terfokus. Desa-desa ini, dengan potensi lahan kering yang signifikan dan berada pada ketinggian optimal, seharusnya menjadi fokus prioritas dalam program pengembangan, intensifikasi budidaya, dan pembangunan infrastruktur pendukung seperti jaringan irigasi atau embung. Distribusi penggunaan lahan sawah dan ladang terdapat pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta lokasi potensial pengembangan komoditas bawang putih di Sembalun

### 2. Analisis Data Iklim Jangka Panjang

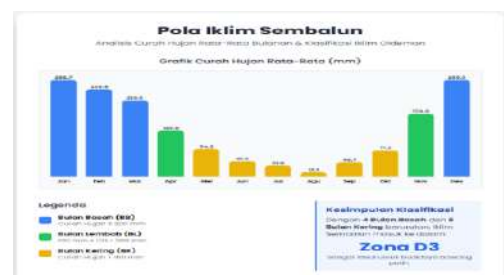
Untuk mendapatkan gambaran iklim yang akurat dan representatif, studi ini menggunakan data iklim harian

dari NASA POWER untuk periode 20 tahun (2004-2024). Penggunaan data satelit ini menjadi solusi efektif untuk wilayah yang mungkin memiliki keterbatasan stasiun cuaca darat (BMKG). Keandalan data ini divalidasi melalui uji korelasi dengan data stasiun BMKG terdekat, yang menunjukkan koefisien korelasi sebesar 0,96 untuk parameter curah hujan. Nilai korelasi yang sangat tinggi ini membuktikan bahwa data NASA POWER akurat dan dapat diandalkan untuk analisis iklim jangka panjang. Validasi ini memiliki implikasi yang lebih luas, yaitu bahwa metodologi pertanian presisi berbasis data iklim kini dapat diterapkan secara luas di seluruh Indonesia, bahkan di daerah terpencil sekalipun, untuk beralih ke praktik pertanian cerdas iklim (*climate-smart agriculture*), tanpa bergantung pada ketersediaan infrastruktur stasiun cuaca fisik yang padat. Hal ini secara efektif mendemokratisasi akses terhadap data untuk perencanaan pertanian modern.

Analisis data menunjukkan bahwa Sembalun memiliki pola iklim monsunial yang jelas. Rata-rata curah hujan tahunan mencapai sekitar 1.600 mm, dengan musim hujan yang terkonsentrasi antara bulan November hingga Maret. Puncak musim hujan terjadi pada Desember dan Januari. Sebaliknya, periode musim kemarau yang kering terjadi dari Mei hingga Oktober, dengan curah hujan terendah pada bulan Agustus. Rata-rata suhu maksimum harian berkisar antara 30°C hingga 35°C dan suhu minimum antara 20°C hingga 25°C, yang berada dalam rentang suhu optimal (15°C sd. 20°C) untuk pertumbuhan dan pembesaran umbi bawang putih.

### 3. Klasifikasi Iklim Oldeman dan Penentuan Jendela Tanam Optimal

Menggunakan metode klasifikasi iklim Oldeman, yang didasarkan pada jumlah bulan basah (curah hujan  $\geq 200$  mm) dan bulan kering (curah hujan  $< 100$  mm) secara berurutan, iklim Sembalun dikategorikan sebagai zona D3 (Rusmayadi, 2021). Zona D3 didefinisikan sebagai wilayah yang memiliki 4 bulan basah berturut-turut dan 6 bulan kering berturut-turut. Karakteristik kesesuaian agroklimat untuk bawang putih di Kecamatan Sembalun disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Karakteristik kesesuaian agroklimat untuk bawang putih di Kecamatan Sembalun

Klasifikasi D3 ini sangat cocok untuk fisiologi tanaman bawang putih. Pola iklim ini memberikan sebuah



keuntungan sinergis yang unik ketika dipadukan dengan kondisi topografi dan jenis lahan di Sembalun. Kombinasi antara elevasi tinggi (suhu sejuk), lahan ladang (drainase baik), dan iklim D3 (musim kering yang panjang dan dapat diprediksi) menciptakan sebuah ceruk ekologis yang nyaris sempurna untuk produksi bawang putih berkualitas tinggi. Pola sebaran bulan kering dan bulan basah sepanjang tahun pada Gambar 7 menjadi acuan untuk rekomendasi waktu tanam untuk bawang putih terbaik, seperti disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Rekomendasi waktu tanam terbaik untuk bawang putih di Kecamatan Sembalun

Berdasarkan analisis ini, jendela waktu tanam yang optimal dapat ditentukan dengan presisi. Penanaman bawang putih di Sembalun idealnya dilakukan pada akhir musim hujan atau awal musim kemarau, yaitu sekitar minggu ketiga April hingga minggu kedua Mei. Pemilihan waktu ini didasarkan pada pertimbangan strategis berikut:

- Fase Awal Tanam (April-Mei):** Tanaman memanfaatkan sisa kelembapan tanah dari akhir musim hujan untuk perkecambahan dan pertumbuhan awal, mengurangi kebutuhan irigasi di fase ini.
- Fase Vegetatif dan Pembentukan Umbi (Juni-Juli):** Fase ini terjadi saat curah hujan sudah menurun drastis, namun pasokan air masih dapat dikelola melalui irigasi. Kondisi ini mendukung perkembangan kanopi yang sehat dan inisiasi umbi.
- Fase Pematangan dan Panen (Agustus-September):** Fase paling kritis ini bertepatan dengan puncak musim kemarau. Kondisi kering sangat penting untuk mencegah serangan penyakit busuk umbi (misalnya oleh *Fusarium* sp.) (Anisa, 2022), memaksimalkan kualitas umbi, dan meningkatkan daya simpan pascapanen (Setyaningrum & Saparinto, 2012).

Dengan demikian, penerapan SNI 9292:2024 memungkinkan pergeseran dari kalender tanam yang kaku menjadi strategi tanam yang dinamis dan adaptif terhadap realitas iklim lokal.

### III. MANAJEMEN AIR EFISIEN BERBASIS SNI 9292:2024: ANALISIS KEBUTUHAN AIR AKTUAL

Setelah jadwal tanam optimal ditentukan, langkah selanjutnya adalah memastikan tanaman mendapatkan pasokan air yang cukup dan tepat waktu sepanjang siklus hidupnya. SNI 9302:2024 menyediakan metodologi standar untuk menghitung kebutuhan air tanaman aktual (ETc) secara presisi. Pendekatan ini mengubah paradigma irigasi dari praktik reaktif (menyiram saat tanah terlihat kering) menjadi manajemen input proaktif yang terukur dan efisien.

Konsep dasar dari standar ini adalah perhitungan evapotranspirasi tanaman (ETc), yang merupakan jumlah total air yang hilang dari permukaan tanah melalui evaporasi dan dari tanaman melalui transpirasi. Nilai ini dihitung menggunakan rumus:  $ET_c = ETo \times Kc$ . Di sini, ETo adalah evapotranspirasi acuan, yaitu laju evapotranspirasi dari permukaan referensi (rumput) yang dihitung menggunakan data cuaca seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Sementara itu, Kc adalah koefisien tanaman, yaitu nilai spesifik yang merefleksikan kebutuhan air tanaman pada setiap fase pertumbuhannya.

Berdasarkan data lapangan dan analisis iklim di Sembalun, siklus pertumbuhan bawang putih dibagi menjadi empat fase utama, masing-masing dengan nilai Kc dan kebutuhan air yang berbeda. Perhitungan kebutuhan air tanaman bawang putih per fase pertumbuhan disajikan pada Tabel 4, interpretasinya diilustrasikan pada Gambar 9.

Tabel 4: Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi Bawang Putih per Fase Tumbuh di Sembalun (Implementasi SNI 9302:2024)

FASE PERTUMBUHAN	PERIODE WAKTU	DURASI (hari)	KOEF. TANAMAN (Kc)	KEBUTUHAN AIR (mm/hari)	TOTAL PER PERIODE (mm)
1. Inisiasi	1 - 8 Mei	8	0,70	3,01	23,7
2. Vegetatif	9 Mei - 10 Juni	33	0,88	4,01	132,0
3. Pembentukan Umbi Kritis	11 - 30 Juni	20	1,06	4,52	90,8
4. Pemasakan	1 Juli - 17 Agt	48	0,60	2,44	117,0
<b>Total Musim Tanam</b>		<b>109 Hari</b>		<b>Total Kebutuhan Air</b>	<b>362,5 mm</b>



Gambar 9. Infografis kebutuhan air tanaman bawang putih

Penjelasan dari perhitungan Tabel 4 adalah sebagai berikut:

- Total Kebutuhan Irigasi:** Total kebutuhan air yang harus dipenuhi melalui irigasi selama satu musim tanam adalah



sebesar **362,5 mm**. Angka ini menjadi acuan utama bagi petani dan pengelola sumber daya air dalam merencanakan alokasi air.

2. **Fase Kritis:** Fase **pembentukan umbi** memiliki kebutuhan air harian tertinggi ( $ET_c = 4,52 \text{ mm/hari}$ ) dengan nilai  $K_c$  puncak sebesar 1,05. Ini menandakan bahwa periode 20 hari selama pembesaran umbi adalah fase paling kritis. Kekurangan air pada fase ini akan secara langsung dan signifikan mengurangi ukuran dan bobot umbi, yang pada akhirnya menurunkan total hasil panen (Adiwijaya et al., 2022).
3. **Manajemen Presisi:** Dengan mengetahui kebutuhan air harian pada setiap fase, petani dapat menjadwalkan irigasi secara presisi. Misalnya, pada fase vegetatif, tanaman membutuhkan total 132 mm air. Jika menggunakan irigasi tetes yang efisien, volume ini dapat diberikan secara bertahap sesuai jadwal untuk menjaga kelembapan zona perakaran tetap optimal tanpa pemborosan.

Implementasi SNI 9302:2024 secara fundamental mengubah peran petani dari sekadar pengguna air menjadi manajer sumber daya yang cermat. Petani kini dibekali data kuantitatif untuk membuat keputusan irigasi yang tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga menghemat biaya (air dan energi pompa) serta menjaga kelestarian sumber daya air.

#### IV. IMPLIKASI DAN REKOMENDASI STRATEGIS UNTUK PERTANIAN BAWANG PUTIH BERKELANJUTAN DI SEMBALUN

Sintesis dari analisis SNI 9292:2024 dan SNI 9302:2024 menghasilkan serangkaian rekomendasi strategis yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan budidaya bawang putih di Sembalun (Gambar 10).



Gambar 10. Rekomendasi strategis untuk Pertanian Bawang Putih Berkelanjutan di Kecamatan Sembalun

##### 1. Rekomendasi 1: Adopsi Kalender Tanam Presisi

Rekomendasi utama adalah adopsi formal kalender tanam presisi. Pemerintah daerah melalui Dinas Pertanian dan Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) setempat harus secara aktif menyosialisasikan bahwa **waktu tanam bawang putih yang optimal di Sembalun adalah antara minggu ketiga April hingga minggu kedua**

**Mei**. Kalender ini, yang didasarkan pada analisis iklim D3, berfungsi sebagai strategi mitigasi risiko yang kuat. Dengan mengikuti jadwal ini, petani dapat secara signifikan mengurangi risiko gagal panen akibat penyakit busuk umbi yang dipicu oleh hujan di akhir musim tanam. Ini mengubah pertanian dari aktivitas yang bergantung pada keberuntungan cuaca menjadi bisnis yang risikonya dapat dikelola secara ilmiah.

##### 2. Rekomendasi 2: Implementasi Irigasi Terjadwal Berbasis Etc

Petani didorong untuk beralih dari irigasi konvensional (misalnya, penggenangan) ke sistem irigasi yang lebih efisien seperti irigasi tetes (*drip irrigation*) atau irigasi curah (*sprinkler*). Jadwal dan volume irigasi harus mengacu langsung pada data kebutuhan air per fase yang disajikan pada Tabel 4. Penerapan irigasi presisi ini tidak hanya akan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman tetapi juga menghasilkan penghematan air yang signifikan, meningkatkan ketahanan petani terhadap periode kekeringan, dan mengurangi biaya operasional.

##### 3. Rekomendasi 3: Pengembangan Kawasan Berbasis Potensi

Program bantuan pemerintah, baik berupa subsidi pupuk, benih unggul (seperti varietas lokal Sangga Sembalun), maupun pembangunan infrastruktur pertanian (misalnya, embung atau jaringan irigasi), harus diprioritaskan untuk desa-desa dengan potensi lahan ladang terbesar. Berdasarkan dari Badan Pusat Statistik (2024), **Desa Sajang, Desa Sembalun, dan Desa Sembalun Lawang** harus menjadi target utama intervensi program. Pendekatan berbasis data ini memastikan bahwa sumber daya pemerintah yang terbatas dialokasikan secara efektif untuk memberikan dampak maksimal.

##### 4. Rekomendasi 4: Peningkatan Kapasitas Sumber Daya Manusia

Standar dan teknologi hanya akan efektif jika diiringi dengan peningkatan kapasitas sumber daya manusia. Perlu diselenggarakan program pelatihan dan pendampingan intensif bagi para petani dan petugas penyuluh lapangan (PPL). Materi pelatihan harus fokus pada keterampilan praktis, seperti cara membaca data iklim sederhana, memahami konsep  $ET_c$ , dan mengoperasikan sistem irigasi modern (Waluyo, 2020). Upaya ini sejalan dengan agenda nasional untuk membangun kapasitas SDM dalam menghadapi era transformasi digital di sektor pertanian (Suryanto et al., 2023).

#### V. PENUTUP

Studi kasus di Sembalun ini telah secara komprehensif mendemonstrasikan bahwa implementasi SNI 9292:2024 dan SNI 9302:2024 menyediakan kerangka kerja

yang solid, ilmiah, dan aplikatif untuk modernisasi budidaya bawang putih dengan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan SNI 9302:2024, analisis karakteristik iklim Sembalun sebagai zona D3 (Oldeman) memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk merekomendasikan jendela tanam optimal pada bulan April-Mei. Penentuan waktu tanam yang presisi ini merupakan strategi kunci untuk menyelaraskan siklus pertumbuhan tanaman dengan pola iklim lokal, sehingga dapat meminimalkan risiko agroklimat dan memaksimalkan potensi hasil.
2. Melalui penerapan SNI 9292:2024, total kebutuhan irigasi bawang putih selama satu musim tanam berhasil dikuantifikasi sebesar 362,5 mm. Identifikasi fase pembentukan umbi sebagai periode paling kritis terhadap kebutuhan air memungkinkan penyusunan jadwal irigasi yang efisien, yang dapat menghemat sumber daya air dan meningkatkan kualitas umbi.

Secara keseluruhan, pendekatan berbasis standar ini menawarkan sebuah model yang dapat direplikasi untuk komoditas hortikultura strategis lainnya di berbagai wilayah di Indonesia. Dengan beralih dari pertanian berbasis intuisi ke pertanian presisi berbasis data, Indonesia dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan sektor pertaniannya, yang pada akhirnya akan memberikan kontribusi signifikan terhadap pencapaian tujuan swasembada pangan nasional.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiwijaya, H. D., Cartika, I., & Basuki, R. S. (2022). Penentuan kebutuhan air, pengaturan volume, dan interval penyiraman untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan produksi bawang putih di dataran tinggi. *Kultivasi*, 21(1), 33-41.
- Anisa, R. S. (2022). Isolasi dan karakterisasi kapang pada tanaman bawang merah (*Allium cepa* L.) varietas bima curut asal Kabupaten Brebes sebagai penghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. penyebab penyakit moler secara *in vitro*. Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Timur. (2024). Kecamatan Sembalun Dalam Angka 2024. Diakses pada 3 Juli 2025, <https://lomboktimurkab.bps.go.id/id/publication/2024/09/26/ca74d478edc5755cc4441cae/kecamatan-sembalun-dalam-angka-2024.html>
- Badan Standardisasi Nasional. (2024). SNI 9292:2024, Metode penghitungan kebutuhan air tanaman di lahan kering. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2024). SNI 9302:2024, Spesifikasi informasi geospasial – Sumberdaya agroklimat untuk penentuan pola tanam tanaman pangan skala 1:250.000. Jakarta: BSN.
- Daniyantara, D. (2015). Potensi Kondisi Geografis dan Kehidupan Sosial Budaya di Daerah Gunung Rinjani Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat sebagai Medan Pembibitan dan Pemanduan Bakat Olahraga. *Doctoral dissertation*, UNS (Sebelas Maret University).
- Haryanto, E. T., Handoyo, G. C., & Ningsih, F. V. (2023, June). Pengaruh pemulsaan pada beberapa varietas bawang putih (*Allium sativum* L.) di Dataran Rendah. *In Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Hortikultura Indonesia* (Vol. 1, No. 01).
- Ramadhan, G. G., Rachmawati, T. A., & Usman, F. (2020). Perencanaan Titik Lokasi dan Jalur Evakuasi Letusan Gunung Rinjani di Kecamatan Sembalun Lombok Timur. *Planning for Urban Region and Environment Journal (PURE)*, 9(2), 109-118.
- Rusmayadi, G. (2021). Agroklimatologi Di Era Perubahan Iklim Global. Irdh.
- Setyaningrum, H. D., & Saparinto, C. (2012). Panen sayur secara rutin di lahan sempit. Penebar Swadaya Grup.
- Suryanto, A., Aini, N., Sumarni, T., Nurlaelih, E. E., Azizah, N., & Setiawan, A. (2023). *Dasar Budi Daya Tanaman*. Universitas Brawijaya Press.
- Waluyo, T. (2020). Penerapan Fungsi Manajemen dan Analisis Finansial Budidaya Bawang Putih (Studi Kasus Petani Bawang Putih di Desa Cipendawa, Pacet, Cianjur-Jawa Barat). *Ilmu dan Budaya*, 41(72).

# Sinergi Antara Standar Dan Kearifan Lokal Dalam Sistem Surjan Di Lahan Rawa Lebak

Wheny Masrurroh dan Ani Susilawati

Balai Perakitan dan Pengujian Pertanian Lahan Rawa, Banjarbaru

## RINGKASAN

Penataan lahan rawa lebak memiliki peranan penting dalam mendukung keberlanjutan produksi pertanian di wilayah rawa yang rentan terhadap genangan dan kekeringan musiman. Sistem surjan merupakan salah satu bentuk rekayasa tata lahan tradisional yang telah terbukti adaptif di berbagai daerah rawa di Indonesia. Tulisan ini bertujuan untuk mengidentifikasi standar penataan lahan rawa lebak dengan sistem surjan berdasarkan karakteristik lahan, tata air, dan kesesuaian komoditas. Metode pengambilan data dilakukan melalui studi literatur, observasi lapangan, dan wawancara. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa sistem surjan di lahan rawa lebak sudah sesuai dengan SNI 9245:2024 Penataan lahan dengan sistem Surjan. Menurut SNI 9245:2024 indikator keberhasilan sistem surjan ditentukan dengan Nilai Indeks Tanaman (NIT) dan Nilai Indeks Penggunaan Lahan (NIPL) lebih dari 1.1 maka sistem surjan dinyatakan berhasil. Sistem surjan yang sudah dibentuk di IP2MP Banjarbaru memiliki NIT dan NIPL lebih dari 1.1 sesuai indikator keberhasilan menurut SNI 9245:2024. Sistem surjan juga perlu didukung oleh penataan air yang sesuai dengan dinamika hidrologi lebak. Dengan penerapan yang tepat, sistem surjan dapat meningkatkan produktivitas pertanian, mendukung ketahanan pangan berkelanjutan serta efisiensi penggunaan sumber daya lahan dan air.

## III. PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai lahan rawa lebak sangat luas sekitar 13,28 juta hektar yang tersebar di Sumatera sekitar 2,79 juta hektar, Kalimantan 3,58 juta hektare, Papua 6,31 juta hektare, dan Sulawesi 0,61 juta hektar. Lahan rawa lebak yang sudah dibuka oleh pemerintah sekitar 578,934 ha (4,4%) dan yang dibuka oleh masyarakat setempat secara swadaya sekitar 346,901 ha (2,6%), sementara lahan rawa lebak yang berpotensi untuk pertanian dan belum dibuka terdapat sekitar 1.411.317 ha (10,6%) (Susilawati dan Nazemi, 2024). IP2MP Banjarbaru, Kalimantan Selatan, memiliki lahan dengan tipologi lahan rawa lebak dangkal hingga lebak tengahan dengan luas mencapai 35 Ha. Lahan rawa lebak dangkal di IP2MP Banjarbaru sering dimanfaatkan sebagai lahan untuk budidaya pertanian khususnya tanaman padi dan hortikultura seperti jagung manis, cabai, dan sayur-sayuran.

Lahan rawa lebak memiliki beberapa keunggulan dibandingkan jenis lahan rawa lainnya, terutama lahan rawa pasang surut. Lahan rawa lebak secara umum lebih subur

dibandingkan lahan rawa pasang surut karena tanahnya tersusun dari endapan sungai yang tidak mengandung bahan sulfidik atau pirit, yang biasanya ditemukan pada lahan rawa pasang surut. Hal ini membuat lahan rawa lebak lebih cocok untuk pertanian. Lahan rawa lebak umumnya tidak menghadapi masalah bahan sulfidik seperti pirit yang bisa menjadi kendala dalam pertanian di lahan rawa pasang surut. Lahan rawa lebak merupakan lahan pedalaman dengan topografi relatif cekung sehingga air tidak mengalir keluar dengan mudah. Air di lahan ini dipengaruhi oleh musim, tergenang pada musim hujan dan berangsur surut pada musim kemarau. Kondisi ini menjadikan rawa lebak sebagai "kantong penyangga produksi padi," terutama saat musim kekeringan seperti El-Nino ketika agroekosistem lain mengalami kekurangan air. Lahan rawa lebak dapat dimanfaatkan untuk berbagai jenis pertanian, seperti tanaman padi, palawija, hortikultura (sayuran seperti tomat, cabai, terong, mentimun), serta peternakan dan perikanan. Lahan ini bahkan bisa digunakan untuk budidaya sayuran di luar musim (*off-season*) sehingga memiliki nilai jual lebih tinggi saat musim kering di wilayah lain.

Dengan luas sekitar 13,28 juta hektare di Indonesia, lahan rawa lebak yang belum dimanfaatkan masih sangat besar, memberikan peluang untuk pengembangan sebagai lahan pertanian sub-optimal yang potensial. Ringkasnya, keunggulan lahan rawa lebak terletak pada kesuburannya yang lebih baik, tidak menghadapi masalah bahan sulfidik, pola hidrologi yang mendukung pertanian meskipun musim kering, serta potensi pemanfaatan yang luas baik untuk tanaman pangan maupun hortikultura dan komoditas lainnya (Alwi dan Tapakrisnanto, 2017). Salah satu potensi lahan rawa lebak adalah pemanfaatannya sebagai lahan pertanian. Secara umum, pertanian yang dapat dilakukan di lahan rawa lebak adalah pertanian sawah, palawijaya, dan hortikultura. Pola tanam dan jenis komoditas yang dapat dikembangkan di lahan rawa lebak sangat tergantung kepada tipologi lahannya. Tipologi yang dimaksud meliputi rawa lebak dangkal, rawa lebak tengahan, dan rawa lebak dalam (Darsani dan Subagio, 2016).

Potensi pengembangan lahan rawa lebak untuk pertanian cukup besar, termasuk untuk tanaman pangan, hortikultura, perkebunan, perikanan, dan peternakan. Pengembangan lahan rawa lebak dapat dilakukan dengan penerapan sistem polder untuk mengatasi masalah genangan air saat musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Lahan rawa lebak dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan kedalaman dan lamanya genangan seperti lebak dangkal, lebak tengahan, dan lebak dalam dengan luas



masing-masing berturut-turut sekitar 4,17 juta ha, 3,44 juta ha, dan 0,68 juta ha. Lahan rawa lebak juga dapat diintegrasikan dengan usaha tani terpadu seperti kombinasi pertanian tanaman pangan dengan budidaya ikan untuk meningkatkan produktivitas dan nilai ekonomi (Suryana, 2016).

## II. PERANAN SISTEM SURJAN DI LAHAN RAWA LEBAK

### 1. Tantangan Pertanian di Lahan Rawa Lebak

Lahan rawa lebak mempunyai potensi besar untuk mendongkrak kegiatan pertanian di Indonesia. Berdasarkan Keputusan Menteri Nomor 29 Tahun 2015, rawa dibedakan menjadi dua jenis yaitu rawa pasang surut dan rawa dataran rendah. Rawa pasang surut merupakan rawa yang terletak di pesisir pantai dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Sedangkan rawa lebak merupakan rawa dataran rendah yang jauh dari pantai yang tergenang oleh banjir sungai dan curah hujan yang berkala atau konsisten. Lahan rawa lebak sangat berperan penting dalam peningkatan sektor pertanian dan perkebunan. Indonesia memiliki lahan rawa lebak yang luasnya mencapai 15,03 juta ha. Sedangkan lahan rawa lebak yang memiliki potensi dan dapat digunakan untuk pertanian luasnya mencapai 8,9 juta ha. Berdasarkan hasil kajian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementan tahun 2015, lahan rawa lebak yang sudah dimanfaatkan oleh pemerintah untuk pertanian yakni seluas 341.526 ha.

Lahan rawa lebak memiliki potensi yang sangat ditentukan oleh bahan-bahan yang diendapkan dari daerah atasnya. Air yang terdapat pada lahan rawa lebak hanya berasal dari curah hujan. Umumnya lahan rawa lebak lebih subur jika dibandingkan dengan lahan pasang surut, karena lahan rawa lebak tidak bermasalah dengan bahan sulfidik (pirit). Air menjadi faktor yang memegang peranan penting dalam penentuan potensi lahan rawa lebak, sehingga pembagian lahan secara lebih rinci tergantung keberadaan air. Keberadaan air pada lahan rawa lebak tergantung pada musim, saat musim hujan seluruh lahan rawa lebak tergenang, sedangkan saat musim kemarau secara berangsur angsur lahan mulai surut airnya. Dengan demikian, potensi lahan rawa lebak dipengaruhi dan tergantung pada kondisi air (Alwi, 2017). Lahan rawa terbagi dalam 3 zone, yaitu (1) rawa pantai, (2) rawa pasang surut, dan (3) rawa lebak atau rawa pedalaman.

Penataan lahan perlu dilakukan untuk membuat lahan tersebut sesuai dengan kebutuhan tanaman yang akan dikembangkan. Pelaksanaan penataan lahan perlu memperhatikan hubungan antara tipologi lahan, tipe luapan, dan pola pemanfaatannya (Susilawati, et al., 2024). Tipologi lahan rawa lebak memiliki beberapa kategori berdasarkan ketinggian genangan dan lama genangan yang tertuang dalam Tabel 5.

No.	Kriteria	Dangkal	Tengahan	Dalam – Sangat Dalam
1.	Kedalaman Genangan	0-0,5 Meter	0,5 – 1,5 Meter	> 1,5 Meter
2.	Lama Genangan	3-5 bulan	5-8 bulan	8-12 bulan (sepanjang tahun)
3.	Kesuburan Tanah	Relatif subur	sedang	Rendah (sering berupa gambut)
4.	Sumber genangan	Air hujan lokal	Air hujan dan luapan sungai	Luapan sungai besar, danau dan air hujan
5.	Penggunaan lahan	Hortikultura, padi, palawija	Padi toleran genangan	Perikanan, konservasi tanaman tertentu, padi apung

Tabel 5. Karakteristik tipologi lahan rawa lebak

### 2. Penataan lahan sistem surjan di lahan rawa lebak

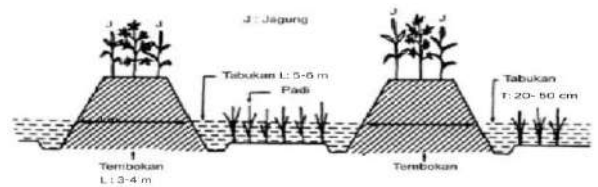
Sistem Surjan merupakan suatu pendekatan dalam pengelolaan lahan yang telah diadopsi oleh petani di Indonesia, khususnya pada ekosistem lahan pasang surut dengan karakteristik kedalaman pirit yang dangkal. Standar penataan lahan telah diatur dalam SNI 9245:2024 tentang Penataan Lahan Rawa Pasang Surut Tipe Luapan B dengan Sistem Surjan. Standar ini menetapkan persyaratan lahan, tahapan kerja penataan lahan sistem surjan yang mencakup perencanaan, konstruksi atau pembuatan surjan,

pemeliharaan surjan, dan penilaian keberhasilan sistem surjan. Standar ini berlaku untuk lahan rawa pasang surut tipe luapan B dan dapat digunakan oleh pemerintah, dunia usaha maupun masyarakat yang akan mengelola lahan rawa pasang surut tipe luapan B untuk usaha pertanian.

Sistem surjan pada SNI 9245:2024 lebih menekankan pada standar bentuk surjan dengan faktor pembatas kedalaman pirit yang dangkal pada lahan rawa pasang surut tipe luapan B. Sistem surjan yang diterapkan pada lahan pasang surut juga dapat diterapkan pada lahan

rawa lebak untuk mengatasi masalah genangan air pada lahan rawa lebak. Sistem surjan pada lahan rawa lebak tidak berfokus kedalaman pirit, melainkan berfokus mengatasi masalah genangan air agar lahan dapat dimanfaatkan untuk budidaya pertanian. Metode sistem surjan pada lahan rawa lebak ini tidak hanya berfungsi untuk meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan pendapatan petani. Lahan rawa lebak merupakan ekologi yang terendam air pada periode waktu musim hujan dan kekeringan pada periode musim kemarau. Pada saat terendam air, tinggi muka air tidak dapat dikendalikan secara gravitasi, sehingga tinggi muka air dilahan sawah rawa lebak tidak dapat memenuhi kebutuhan tanaman. Sebaliknya pada waktu musim kemarau lahan akan kering, tanaman akan mengalami kekurangan air dan air tidak dapat dimasukkan ke lahan secara gravitasi. Karena itu untuk optimalisasi lahan rawa lebak yang tergolong lahan suboptimal, diperlukan pengendalian tinggi muka air di lahan (Saleh, 2020).

Sistem Surjan adalah teknik pengelolaan lahan yang menciptakan pola tanam dengan membagi lahan menjadi dua bagian: guludan atau tembakan (*raised beds*) dan tabukan (*sunken beds*). Guludan atau tembakan biasanya ditanami tanaman palawija atau hortikultura, sedangkan tabukan digunakan untuk penanaman padi. Pola ini memungkinkan pemanfaatan ruang yang lebih efisien dan diversifikasi tanaman, yang pada gilirannya meningkatkan hasil pertanian secara keseluruhan (Susilawati dan Nursyamsi, 2014). Pada musim hujan, bagian tabukan dapat ditanami padi, dan bagian guludan dapat ditanami jagung manis (Gambar 11). Sebaliknya pada musim kemarau, saat kondisi lahan mengalami kekeringan, bagian tabukan dapat dimanfaatkan untuk menanam hortikultura. Pada bagian tabukan saat musim kemarau kondisi tanah masih menyimpan air yang dibutuhkan untuk tumbuh kembang tanaman. Gambar melintang pembentukan surjan pada lahan rawa lebak sesuai dimensi kebutuhan air untuk tanaman. Ketinggian guludan dan tabukan dapat disesuaikan dengan kondisi lahan pada suatu ekosistem setempat. Salah satu bentuk surjan yang ada di Instalasi Pengujian dan Penerapan Modernisasi Pertanian (IP2MP) Banjarbaru digambarkan dalam dimensi ukuran surjan di lahan rawa lebak dangkal (Gambar 12). perbandingan sistem surjan di lahan pasang surut tipe B, dari SNI surjan.



Gambar 11. Dimensi sistem surjan di lahan rawa lebak dangkal (IP2SIP Banjarbaru)



Gambar 12. Implementasi pertanian dengan sistem surjan di lahan rawa lebak dangkal

### III. PERANAN SISTEM SURJAN DI LAHAN RAWA LEBAK

Penilaian keberhasilan sistem surjan menurut SNI 9245:2024 dapat dilihat dari Nilai Indeks Tanaman (NIT) dengan nilai lebih dari 1.1. Keberhasilan penataan sistem surjan yang sudah berfungsi dengan baik dilakukan penilaian berdasarkan indikator NIT dan NIPL. Metode pengukuran keberhasilan dihitung dengan persamaan:

$$NIT = \frac{IT \text{ sistem surjan}}{IT \text{ lahan sawah}}$$

- IT sistem surjan adalah banyaknya jenis tanaman yang ditanam pada bagian tabukan dan pada bagian guludan selama satu tahun.
- IT lahan sawah adalah banyaknya jenis tanaman yang ditanam pada bagian tabukan atau lahan sawah selama satu tahun.

Nilai Indeks Penggunaan Lahan NIPL dihitung dengan membagi nilai IPL setelah ditata sistem surjan dengan IPL sebelum ditata sistem surjan. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$NIPL = \frac{IPL \text{ sistem surjan}}{IPL \text{ lahan sawah}}$$

Di lahan rawa lebak, juga dapat dilakukan penataan lahan dengan sistem surjan untuk mengurangi kendanya adanya genangan. Lahan rawa lebak cukup potensial untuk mendukung swasembada pangan. Tipe lahan rawa lebak yang dapat dilakukan sistem surjan misalnya lahan rawa lebak dangkal dan lahan rawa lebak tengahan. Di lahan IP2MP Banjarbaru, Kalsel terdapat lahan dengan sistem surjan dengan kategori lahan rawa lebak dangkal hingga tengahan. Sistem surjan di lahan rawa lebak bertujuan untuk mengurangi genangan dan meningkatkan produktivitas.

Bagian sistem surjan di lahan rawa lebak juga seperti sistem surjan di lahan rawa pasang surut. Perbedaan sistem surjan di lahan rawa lebak lebih menekankan pada tujuan mengurangi genangan, sedangkan pada sistem surjan di lahan rawa pasang surut lebih menekankan pada mengurangi bahaya lapisan pirit teroksidasi.

Untuk menentukan NIT di lahan rawa lebak dilakukan dengan menghitung Indeks tanaman selama satu

tahun dengan mengamati tanaman di IP2MP Banjarbaru di lokasi yang sudah dibentuk sistem surjan. Luas Lahan yang digunakan sebagai sistem surjan adalah 1.800 m<sup>2</sup>, tanaman yang dibudidayakan di lahan tersebut adalah padi, jagung manis, kedelai, jagung pulut, cabai, terong, dan kacang tanah. Denah pertanaman di lahan sistem surjan (Gambar 13).

Uraian	Tabukan	Guludan	Tabukan	Guludan	Tabukan	Guludan	Tabukan	Guludan	Tabukan	Guludan	Tabukan	Guludan
	Padi inpari 32, Padi Inpara 2	Kacang tanah, jagung manis, cabai	padi inpari 32, Inpara 2	Jagung Pulut, Jagung manis	Padi Inpara 2	Jagung Manis, Kacang tanah, jagung pulut, kedelai	Padi Inpara 2	Jagung pulut, kacang tanah	Padi lokal (Mayang), inpara 2	Cabai, Terong	Padi lokal (Mayang), inpara 2	Terong, cabai
	5,8 m	3 m	6 m	3,5 m	6 m	3,5 m	5,6 m	3,6 m	6 m	3,4 m	5,2 m	3,5 m
Luas	232	120	240	140	240	140	224	144	240	136	208	140
IPL Surjan	2204											
IPL Sawah	1384		240									
IT	1	3	1	2	1	4	1	2	1	2	1	2
IT Surjan	21											
IT Sawah	6											

Gambar 13. Denah sistem surjan di IP2MP Banjarbaru

$$NIT = \frac{IT \text{ sistem surjan}}{IT \text{ lahan sawah}} = \frac{21}{6} = 3,5$$

$$NIPL = \frac{IPL \text{ sistem surjan}}{IPL \text{ lahan sawah}} = \frac{2204 \text{ m}^2}{1384 \text{ m}^2} = 1,59$$

Dengan NIT sebesar 3,5 dan NIPL sebesar 1,59 berarti NIT Dan NIPL sistem surjan di Lahan rawa lebak lebih dari 1,1 maka sistem surjan di lahan rawa lebak di IP2MP dinyatakan telah berhasil. Nilai NIT dan NIPL lebih dari 1.1 merupakan salah satu parameter kuantitatif utama yang digunakan untuk menilai keberhasilan penerapan sistem surjan pada lahan rawa pasang surut tipe luapan B. Indeks tanaman adalah ukuran kuantitatif yang merefleksikan kesesuaian teknis dan produktivitas lahan yang telah ditata dengan sistem surjan. Nilai indeks tanaman sebesar 1,1 berarti bahwa sistem surjan yang diterapkan berhasil dalam mengoptimalkan kondisi lahan dan mendukung pertumbuhan tanaman secara efektif. Angka 1,1 ini menunjukkan bahwa produktivitas tanaman mencapai atau bahkan melebihi standar keberhasilan yang ditetapkan dalam SNI 9245:2024. Nilai indeks tanaman 1,1 adalah bukti kuantitatif bahwa implementasi sistem surjan sesuai SNI 9245:2024 efektif dan berhasil dalam meningkatkan produksi serta mengelola lahan rawa dengan baik sesuai standar nasional.

## IV. PENUTUP

Penerapan sistem surjan di lahan rawa lebak terbukti menjadi strategi efektif dalam mengoptimalkan pemanfaatan lahan suboptimal untuk kegiatan pertanian. Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan nilai NIT serta NIPL yang melebihi 1,1, sistem surjan di lahan rawa lebak telah memenuhi indikator keberhasilan sebagaimana tercantum dalam SNI 9245:2024. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan standar nasional dapat bersinergi dengan kearifan lokal petani dalam mengelola tata lahan dan air.

Untuk menghadapi tantangan permasalahan di lahan rawa lebak diperlukan kerjasama antara petani, pemerintah, dan lembaga terkait untuk mencapai hasil optimal di lahan rawa lebak dengan membuat lahan dalam bentuk sistem surjan, membuat penataan air yang terorganisir, dan memaksimalkan pemanfaatan minipolder. Dengan penerapan yang tepat, sistem surjan tidak hanya meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga mendukung ketahanan pangan berkelanjutan serta efisiensi penggunaan sumber daya lahan dan air. Dukungan kebijakan berbasis SNI akan menjadi kunci dalam memperluas penerapan sistem surjan di berbagai wilayah rawa lebak Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

Alwi, M. dan C. Tapakrisnanto. 2017. Potensi dan Karakteristik Lahan Rawa Lebak. *IAARD Press*. Diakses dari laman:



<https://repository.pertanian.go.id/items/b69f62a3-e01e-4e68-a468-8609d0621077>

- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2024. SNI 9245:2024 — Penataan Lahan Rawa Pasang Surut Tipe Luapan B dengan Sistem Surjan. Jakarta: BSN.
- Darsani, Y. R. & Subagio, H. 2016. Usaha Tani di Lahan Rawa: Analisis Ekonomi dan Aplikasinya. Jakarta: IAARD Press.
- Gribaldi. 2016 Peningkatan Pertumbuhan dan Produksi Jagung Manis Melalui Penerapan Sistem Pengolahan Tanah dan Pemberian Mulsa pada Lahan Kering. *Jurnal Lahan Suboptimal* ISSN: 2252-6188 (Print), ISSN: 2302-3015 (Online, [www.jlsuboptimal.unsri.ac.id](http://www.jlsuboptimal.unsri.ac.id)) Vol. 5, No.2: 119-126 Oktober 2016
- Saleh. E. 2020. Proceedings: Peran Teaching Factory Di Perguruan Tinggi Vokasi Dalam Mendukung Ketahanan Pangan Pada Era New Normal. *Agropross, National Conference Proceedings of Agriculture*. Jurusan Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember.
- Sirappa MP. 2003. Pengaruh Batas Kritis dan Dosis Pemupukan N untuk Tanaman Jagung di Lahan Rawa. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. Pustaka Grafika. Bandung
- Suratijah, Ken. 2015. Ilmu Usaha Tani edisi revisi. Jakarta : Penebar Swadaya. 156 Hal.
- Suryana, 2016. Potensi Dan Peluang Pengembangan Usaha Tani Terpadu Berbasis Kawasan Di Lahan Rawa. *Jurnal Litbang Pertanian* Vol. 35 No. 2 Juni 2016: 57-68
- Susilawati, A. dan D. Nursyamsi. 2014. Sistem Surjan: Kearifan Lokal Petani Lahan Pasang Surut dalam Mengantisipasi Perubahan Iklim. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 8 No. 1, Juli 2014; 31-42
- Susilawati, A., Nursyamsyi, D, Sarwani, M. dan Irianto G. 2024. SNI Sistem Surjan Menjamin Diversifikasi Komoditas di Lahan Rawa. *Warta SumberDaya Lahan Pertanian*. Vol 1 No 1, Desember 2024.

# Pengelolaan Limbah Ternak: Solusi Efektif untuk Menekan Emisi Gas Metana

Apit Mulyana, Afrida F. M

Balai Perakitan dan Pengujian Lingkungan Pertanian

[apitmulyana289@gmail.com](mailto:apitmulyana289@gmail.com), [afrida.fm@gmail.com](mailto:afrida.fm@gmail.com)

## RINGKASAN

Peternakan ruminansia, seperti sapi dan domba, merupakan sumber utama emisi metana ( $\text{CH}_4$ ), gas rumah kaca yang kuat. Pengelolaan limbah ternak yang efektif dapat menekan emisi metana dan mendukung pertanian berkelanjutan. Artikel ini membahas berbagai metode inovatif dalam pengelolaan limbah ternak, termasuk pencernaan anaerobik untuk produksi biogas dan pengomposan aerobik. Digesti anaerobik mengubah limbah kotoran ternak menjadi biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan, sementara pengomposan aerobik menghasilkan kompos yang berguna bagi pertanian. Meskipun tantangan implementasi seperti biaya awal dan pengetahuan yang terbatas ada, manfaat ekologis dan ekonomis yang signifikan menjadikan strategi ini penting untuk diterapkan.

## I. PENDAHULUAN

Sektor peternakan merupakan salah satu kontributor utama emisi gas metana ( $\text{CH}_4$ ) ke atmosfer, terutama berasal dari dua sumber utama, yaitu fermentasi enterik dan manajemen limbah ternak.

Berdasarkan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2019), emisi metana dari fermentasi enterik pada hewan ruminansia menyumbang sekitar 30–40% dari total emisi  $\text{CH}_4$  antropogenik global, sedangkan dari pengelolaan limbah ternak sekitar 10–12%. Di Indonesia, sektor peternakan diperkirakan menyumbang sekitar 15–18% dari total emisi metana nasional (FAO, 2020) dan IPCC merekomendasikan bahwa emisi metana global harus dikurangi sebesar 40–45% pada tahun 2030 untuk membatasi pemanasan global hingga  $1,5^\circ\text{C}$  pada abad ini.

### Apa yang dimaksud dengan limbah peternakan, dan jenis-jenis apa saja yang termasuk di dalamnya?

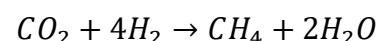
Limbah peternakan adalah produk sampingan dari aktivitas peternakan yang mencakup kotoran hewan, urin, sisa pakan, dan air limbah dari kegiatan pembersihan. Jenis-jenis limbah peternakan meliputi limbah padat (kotoran ternak), limbah cair (urin dan air limbah), dan limbah gas (gas yang dihasilkan dari proses dekomposisi limbah organik). Limbah padat dan cair biasanya dikelola melalui penampungan dan pemrosesan lebih lanjut, sedangkan limbah gas, seperti metana merupakan hasil dari proses fermentasi anaerobik bahan organik yang terbuang begitu saja ke atmosfer.

## Limbah Ternak dan Emisi Metana

Limbah ternak dapat berupa kotoran dan urin ternak. Dalam kondisi anaerobik seperti yang ditemukan di kolam penampungan maupun tumpukan pupuk kandang, mikroorganisme metanogenik mendegradasi bahan organik dalam limbah dan menghasilkan metana. Besarnya emisi dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, suhu, kadar air, dan metode penyimpanan. Menurut FAO (2020), sistem penyimpanan kotoran dalam bentuk sluri cair dapat menghasilkan emisi metana 5–10 kali lebih tinggi dibanding sistem pengeringan atau pengomposan aerobik. Di wilayah tropis seperti Indonesia, suhu lingkungan yang tinggi mempercepat aktivitas mikroba anaerob sehingga meningkatkan laju pembentukan  $\text{CH}_4$  (Hidayati et al., 2024). Oleh karena itu, pengelolaan limbah ternak yang tidak tepat dapat memperburuk emisi gas rumah kaca dari subsektor peternakan.

### Bagaimana proses yang terjadi sehingga limbah peternakan menghasilkan emisi gas metana ( $\text{CH}_4$ )?

Fermentasi enterik terjadi di dalam saluran pencernaan hewan ruminansia seperti sapi, kerbau, kambing, dan domba, terutama di bagian rumen. Proses ini melibatkan aktivitas mikroorganisme anaerob, termasuk bakteri, *protozoa*, dan *archaea* metanogenik, yang berperan dalam mencerna bahan organik berserat tinggi. Selama proses fermentasi, karbohidrat kompleks (seperti selulosa dan hemiselulosa) diuraikan menjadi asam lemak volatil (*volatile fatty acids/VFA*), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Mikroba metanogen kemudian menggunakan  $\text{H}_2$  dan  $\text{CO}_2$  untuk membentuk  $\text{CH}_4$  melalui reaksi reduksi sebagai berikut:



### Mengapa emisi metana dari limbah peternakan menjadi perhatian yang signifikan dalam konteks lingkungan dan perubahan iklim?

Metana yang dihasilkan dari proses fermentasi enterik kemudian dilepaskan ke atmosfer melalui eruktasi (sendawa) atau respirasi hewan. Menurut Hristov et al. (2013), seekor sapi perah dapat menghasilkan antara 80 hingga 120 kg  $\text{CH}_4$  per tahun, tergantung pada jenis pakan, produktivitas, dan sistem pemeliharaan. Gas metana ini memiliki potensi pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*) sebesar 28 kali lebih besar dibanding  $\text{CO}_2$  dalam periode 100 tahun (IPCC, 2019).

Emisi metana adalah gas rumah kaca yang sangat kuat, dengan kemampuan memerangkap panas sekitar 28-34 kali lebih efektif dibandingkan karbon dioksida dalam jangka waktu 100 tahun. Dengan demikian, meskipun metana memiliki waktu tinggal yang lebih pendek di atmosfer dibandingkan dengan karbon dioksida, dampaknya terhadap pemanasan global jauh lebih signifikan. Emisi metana dari peternakan berkontribusi secara substansial terhadap total emisi gas rumah kaca global.

#### Metode pengelolaan apa yang dapat diterapkan untuk mengurangi emisi metana dari limbah peternakan?

Beberapa metode efektif untuk mengelola limbah peternakan dan menekan emisi metana termasuk:

- **Digesti Anaerobik:** Proses ini mengubah limbah organik menjadi biogas (yang terdiri dari metana dan karbon dioksida) melalui fermentasi anaerobik. Biogas ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan, dan sisa prosesnya dapat digunakan sebagai pupuk organik. Limbah ruminansia dapat dimanfaatkan pada reaktor anaerobik untuk menghasilkan biogas dan sekaligus mengurangi emisi gas rumah kaca (Hidayati et al., 2024). Metode digesti anaerobik memanfaatkan sistem tertutup sehingga metana yang biasanya dilepas ke udara bisa ditangkap dan digunakan sebagai energi terbarukan, serta menghasilkan sisa proses (digestat) yang dapat dijadikan pupuk organik cair (Ahmad et al., 2024).
- **Pengomposan Aerobik:** Selain melalui digesti anaerobik, pengomposan aerobik juga menjadi metode yang banyak diterapkan untuk mengurangi emisi metana dari limbah peternakan. Proses pengomposan aerobik berlangsung dengan adanya oksigen sehingga mikroorganisme menguraikan bahan organik tanpa menghasilkan metana dalam jumlah signifikan (Syaiful, 2024).

## II. STRATEGI PENGELOLAAN LIMBAH TERNAK

### 1. Digesti Anaerobik untuk Produksi Biogas

Digesti anaerobik adalah proses biologis di mana bahan organik diuraikan oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen (anaerob). Menurut Hidayati et al. (2024), penerapan digesti anaerobik di peternakan ruminansia di Indonesia dapat mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 60–80%, sekaligus memberikan manfaat ekonomi melalui pemanfaatan biogas dan digestat. Biogas sendiri merupakan campuran gas yang terdiri dari metana ( $\text{CH}_4$ ) sekitar 50–70%, karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sekitar 30–40%, dan sejumlah kecil gas lain seperti hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Biogas ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan untuk listrik, pemanas, atau bahan bakar. Sementara digestat berupa sisa padat dan cair dari proses pencernaan anaerobik yang masih mengandung unsur hara (N, P, K) dan dapat digunakan sebagai pupuk organik. Proses ini sangat relevan dalam konteks mitigasi perubahan iklim karena mampu mengurangi emisi  $\text{CH}_4$  dari sistem penyimpanan kotoran, sekaligus menghasilkan energi terbarukan.



Gambar 14. Digester Kotoran Sapi Pada Pembuatan Biogas

Jenis Ternak	$\text{CH}_4$ Enterik (kg/ekor/tahun)	$\text{CH}_4$ Kotoran (kg/ekor/tahun)
Sapi Potong	120.7	4,5
Sapi Perah	145.8	40
Kerbau	55	2,1
Kuda	18	2,6
Kambing	8	0,32
Domba	5	0,33
Babi	1,5	7
Ayam/unggas	-	0,03

Tabel 6. Faktor Emisi  $\text{CH}_4$  pada Berbagai Jenis Ternak

Sumber : IPCC (2006); UNFCCC (2024)

### 2. Pengomposan Aerobik

Pengomposan aerobik merupakan alternatif lain untuk mengelola limbah ternak dengan mengurangi emisi metana. Proses ini melibatkan penguraian bahan organik dalam kondisi aerobik (dengan oksigen), menghasilkan

panas, air, karbon dioksida, dan kompos sebagai produk akhir. Kompos yang dihasilkan dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas tanah dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Berbeda dengan proses anaerobik, pengomposan aerobik secara signifikan mengurangi



emisi metana karena kondisi oksigen yang meminimalkan aktivitas mikroorganisme metanogenik.

Studi	Metode	Emisi Metana	Keterangan
Hsu dan Lo (1999)	Pengomposan Aerobik	Terjadi pengurangan sebesar 90% dibandingkan anaerobik	Pengomposan aerobik mengurangi emisi metana secara signifikan dibandingkan pengolahan anaerobik.
Tiquia, <i>et al.</i> (2002)	Pengomposan Aerobik	Emisi metana minimal	Pengomposan aerobik pada limbah padat ternak mengurangi emisi metana dengan mempertahankan suhu tinggi.
Bernal, <i>et al.</i> (2009)	Pengomposan Aerobik	0,02-0,1% dari total emisi gas	Emisi metana dari pengomposan aerobik sangat rendah, menunjukkan efisiensi dalam mengurangi metana.
Chen, <i>et al.</i> (2014)	Pengomposan aerobik tipe <i>windrow</i> (terbuka dengan aerasi)	Sekitar 50% lebih rendah dibanding penyimpanan padat	Pengomposan aerobik dengan aerasi efektif menurunkan emisi metana dari kotoran ternak dibanding penyimpanan tanpa aerasi.
Setiyana, <i>et al.</i> (2018)	Pengomposan aerobik	<i>Sludge</i> dan kompos mengalami penurunan CH <sub>4</sub> sebesar 98,11% dan 98,18%	Terjadi penurunan nilai emisi gas metana pada kototan ternak selama 8 minggu pengomposan
Wang, Y. <i>et al.</i> (2021)	Pengomposan aerobik kotoran sapi dengan metode aerasi berbeda	Emisi CH <sub>4</sub> -C hanya 0,27–0,42% dari total karbon organik yang hilang	Pengaturan aerasi yang optimal terbukti menekan pembentukan CH <sub>4</sub> selama fase aktif pengomposan.

Tabel 7. Penurunan Emisi Metana dengan Metode Pengomposan Aerobik



Gambar 15. Kotoran Sapi Setelah Proses Pengomposan

### Selain mengurangi emisi metana, apa manfaat lain dari pengelolaan limbah ternak yang efektif?

Pengelolaan limbah ternak yang baik menawarkan sejumlah manfaat selain pengurangan emisi metana, termasuk:

- **Peningkatan Kesehatan dan Kesuburan Tanah:** Produk akhir dari proses pengolahan limbah, seperti kompos dan digestat dari digesti anaerobik, kaya akan nutrisi dan dapat digunakan sebagai pupuk organik yang meningkatkan kesuburan dan struktur tanah.
- **Energi Terbarukan:** Biogas yang dihasilkan dari digesti anaerobik dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon dioksida.
- **Keuntungan Ekonomi:** Pengelolaan limbah yang efisien dapat mengurangi biaya input, seperti pupuk kimia dan energi, serta menghasilkan pendapatan tambahan dari penjualan biogas maupun kompos.

### Manfaat Ekologis Dan Ekonomis

Pengelolaan limbah ternak yang efektif tidak hanya membantu mengurangi emisi metana tetapi juga membawa manfaat ekologis dan ekonomis lainnya. Penggunaan biogas sebagai sumber energi terbarukan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon dioksida. Produksi kompos dari limbah ternak tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas pertanian. Selain itu, teknologi ini dapat memberikan sumber pendapatan tambahan bagi peternak melalui penjualan energy maupun kompos.

### Apa saja tantangan utama yang dihadapi dalam implementasi teknologi pengelolaan limbah peternakan?

Tantangan utama dalam implementasi teknologi pengelolaan limbah peternakan meliputi:

- **Biaya Awal yang Tinggi:** Investasi awal untuk infrastruktur seperti instalasi biogas atau fasilitas pengomposan bisa sangat mahal, terutama untuk peternak skala kecil.
- **Kurangnya Pengetahuan dan Keterampilan:** Banyak peternak mungkin tidak memiliki pengetahuan atau keterampilan yang diperlukan untuk mengoperasikan teknologi pengelolaan limbah yang canggih.
- **Keterbatasan Akses terhadap Teknologi:** Di beberapa daerah, akses terhadap teknologi terbaru dan sumber daya pendukung mungkin terbatas, sehingga menyulitkan implementasi yang efektif.
- **Regulasi dan Kebijakan:** Ketidadaan regulasi yang mendukung atau kurangnya insentif dari pemerintah dapat menghambat adopsi teknologi pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

### Tantangan dan Implementasi

Implementasi strategi pengelolaan limbah ternak memerlukan investasi awal yang signifikan, baik dalam hal infrastruktur maupun pendidikan. Kurangnya pengetahuan dan kesadaran di kalangan peternak mengenai manfaat dan teknik pengelolaan limbah juga menjadi tantangan utama. Untuk mengatasi hambatan ini, diperlukan dukungan dari pemerintah dan lembaga terkait melalui penyuluhan, pelatihan, dan insentif finansial. Selain itu, kolaborasi antara sektor swasta, akademisi, dan organisasi non-pemerintah dapat membantu dalam penyebaran teknologi dan praktik terbaik.

## IV. PENUTUP

Pengelolaan limbah ternak ruminansia melalui metode inovatif seperti digesti anaerobik, pengomposan aerobik dapat secara signifikan mengurangi emisi metana, mendukung pertanian berkelanjutan, dan meningkatkan kesejahteraan ekonomi peternak. Meskipun terdapat tantangan dalam penerapan teknologi ini, manfaat jangka panjangnya bagi lingkungan dan ekonomi sangat besar. Oleh karena itu, diperlukan upaya terpadu untuk mempromosikan dan mengimplementasikan praktik-praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan di sektor peternakan.

## DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, R., Nuraini, S., & Putra, A. D. (2024). Pemanfaatan Digestat dari Proses Digesti Anaerobik sebagai Pupuk Organik Cair pada Sistem Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Energi dan Lingkungan Tropis*, 12(1), 55–64.

Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology*, 100 (22), 5444-5453.

Chen, R., Wang, Y., Wei, S., Wang, W., & Lin, X. (2014). Windrow composting mitigated CH<sub>4</sub> emissions: characterization of methanogenic and methanotrophic communities in manure management. *FEMS microbiology ecology*, 90(3), 575–586. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12417>

FAO. (2020). Greenhouse Gas Emissions from Livestock: A Global Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Hidayati, N., Prasetyo, D. A., & Sari, R. K. (2024). Pemanfaatan Digesti Anaerobik untuk Reduksi Emisi Metana dari Limbah Peternakan. *Jurnal Lingkungan dan Energi Berkelanjutan*, 9(2), 145–156.

Hristov, A. N., et al. (2013). Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in Livestock Production – A Review of Technical Options for Non-CO<sub>2</sub> Emissions. *FAO Animal Production and Health Paper No. 177*.

Hsu, J.-H., & Lo, S.-L. (1999). Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. *Environmental Pollution*, 104(2), 189-196.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories – a primer. IGES, Kanagawa

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.

Setiyana, D., Ambar P., dan Benito, H.P. (2018). Evaluasi Emisi Gas Metan (CH<sub>4</sub>) pada Feses Sapi Potong yang Terolah dan Tidak Terolah. (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).

Syaiful, M. (2024). Efektivitas Pengomposan Aerobik dalam Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca dari Limbah Peternakan Ruminansia. *Jurnal Teknologi Hijau dan Energi Terbarukan*, 8(1), 72–81.

Tiquia, S. M., Richard, T. L., & Honeyman, M. S. (2002). Carbon, nutrient, and mass loss during composting. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62(1), 15-24.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2024). Environment and Climate Change Canada; National Inventory Report, 1990-2022: *Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada*. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2024\\_NIR%20-%20Part%202.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2024_NIR%20-%20Part%202.pdf)

Wang, Y., Qiu, H., Li, M., & Ghanney, P. (2021). Influence of Aeration Method on Gaseous Emissions and the Losses of the Carbon and Nitrogen during Cow Manure Composting. *Applied Sciences*, 11(24), 11639. <https://doi.org/10.3390/app112411639>

# Peran Biopori Dalam Pengelolaan Sumberdaya Air Dan Produktivitas Tanah Pertanian

Ayla Helmi Putri Rahayu, Ricko Mardiansyah, Finkan Ahista Puri, Divia Hilda Mardika

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University

## RINGKASAN

Lubang Resapan Biopori (LRB) merupakan lubang-lubang tanah yang terbentuk akibat aktivitas organisme di dalamnya, seperti cacing, perakaran tanah, rayap, dan fauna tanah lainnya. Lubang Resapan Biopori atau LRB bekerja dengan memanfaatkan lubang vertikal kecil di tanah yang diisi dengan sampah organik untuk meningkatkan daya serap tanah terhadap air. Hasil dari penggunaan sampah organik pada biopori dapat menjadi pupuk kompos, yang merupakan solusi pengelolaan limbah yang ramah lingkungan dan dapat digunakan untuk membantu penyuburan pertanian. Penerapan biopori dengan sistem irigasi dan tanam dapat dilakukan dengan membuat lubang biopori di sekitar area tanaman dan jalur irigasi untuk meningkatkan resapan air ke dalam tanah. Peran utama Biopori (Lubang Resapan Biopori/LRB) berfungsi sebagai infiltrator alami yang mampu mengatasi masalah utama pada ekosistem, seperti mencegah terjadinya banjir, memperbaiki kualitas air tanah, dan menekan laju erosi. Adapun di sektor pertanian, seperti laju aliran permukaan (*run-off*) yang tinggi dan minimnya pengisian ulang air tanah (*recharge*). Selain aspek kesuburan tanah, pengaruh biopori terhadap peningkatan produktivitas lahan juga dapat dilihat dari respons pertumbuhan vegetatif tanaman yang dipicu oleh perbaikan sifat fisik dan biologis tanah.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan populasi yang besar dan sangat bergantung pada sektor pertanian. Namun, sektor ini seringkali menghadapi tantangan, terutama yang berkaitan dengan pengelolaan sumber daya air dan penurunan kualitas serta produktivitas tanah pertanian. Perubahan iklim telah menyebabkan pola curah hujan yang tidak menentu, seringkali memicu banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau.

Pada musim hujan, curah hujan tinggi menyebabkan aliran permukaan (*run-off*) yang signifikan (Dein *et al.* 2022). Tidak hanya membuang air bersih tetapi juga memicu erosi tanah dan hilangnya lapisan tanah subur. Sebaliknya, di musim kemarau, air tanah (*groundwater*) yang minim menyebabkan tanaman mengalami cekaman air, yang berujung pada penurunan drastis hasil panen. Praktik pertanian intensif dan minimnya bahan organik telah menyebabkan degradasi tanah, yang ditandai dengan penurunan kemampuan tanah dalam menyimpan air dan

nutrisi, serta mempengaruhi bobot isi (*bulk density*) yang menghambat pertumbuhan akar.

Mengatasi berbagai permasalahan lingkungan, LRB merupakan solusi yang tepat. Dimana biopori bekerja dengan memanfaatkan lubang-lubang vertikal di tanah, yang diperluas dan dipertahankan melalui pengisian sampah organik (Ikhtisoliyah dan Fathimah, 2025). Proses dekomposisi sampah ini menarik fauna tanah yang secara alami meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah. Dengan berfungsi sebagai saluran resapan, LRB secara efektif mengurangi aliran permukaan, mencegah genangan atau banjir lokal, dan mempercepat pengisian ulang air tanah (*recharge*), sehingga menjaga ketersediaan air di zona perakaran selama musim kemarau. Sampah organik yang terdekomposisi berfungsi sebagai pupuk kompos, meningkatkan kandungan nutrisi dan memperbaiki struktur fisik tanah, yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan kesehatan tanah pertanian (Baguna *et al.* 2021).

## II. PENGERTIAN DAN MEKANISME KERJA LUBANG RESAPAN BIOPORI (LRB)

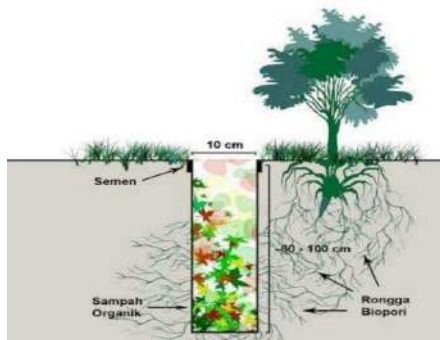
LRB merupakan lubang-lubang tanah yang terbentuk akibat aktivitas organisme di dalamnya, seperti cacing, perakaran tanah, rayap, dan fauna tanah lainnya (Virgota *et al.* 2021). Lubang Resapan Biopori atau LRB bekerja dengan memanfaatkan lubang vertikal kecil di tanah yang diisi dengan sampah organik untuk meningkatkan daya serap tanah terhadap air. Pada dasarnya, prinsip kerja Lubang Resapan Biopori (LRB) didasarkan pada mekanisme infiltrasi, di mana air hujan dialirkan ke dalam lubang yang kemudian meresap ke dalam tanah (Hidayat *et al.* 2021). Lubang Resapan Biopori (LRB) dapat menyerap lebih banyak volume air hujan sehingga mengurangi terjadinya genangan air atau aliran permukaan (*run-off*) yang dapat menyebabkan banjir (Chandra 2021).



Gambar 16. Lubang biopori  
(Sumber: Wijaya *et al.* 2019)



Lubang Resapan Biopori (LRB) juga bekerja dengan mengubah sampah organik menjadi pupuk alami melalui proses pengomposan secara aerob (Manullang *et al.* 2025). Selain itu, Lubang Resapan Biopori (LRB) dapat meningkatkan kualitas ekosistem tanah. Hal tersebut dapat terjadi karena lubang ini diisi dengan sampah organik guna merangsang aktivitas mikroorganisme yang bermanfaat bagi kesuburan tanah (Manullang *et al.* 2025). Di dalam lubang, sampah organik menjadi sumber makanan bagi organisme tanah seperti cacing, semut, dan mikroorganisme yang kemudian membentuk banyak terowongan kecil di sekitar lubang. Pengisian sampah organik dalam lubang tersebut juga dimaksudkan agar tanah tidak cepat runtuh dan menutupi lubang biopori.



Gambar 17. Konsep Teknologi Lubang Resapan Biopori  
(Sumber: Firdaus, 2023)

#### 1. Cara pembuatan lubang biopori

Dalam pembuatan lubang biopori, dilakukan dengan membuat lubang dengan menggunakan bor tanah lalu lubang dibuat berbentuk silindris secara vertikal ke dalam tanah dengan diameter 10-30 cm dan kedalaman mencapai 80-100 cm. Pembuatan Lubang Resapan Biopori sangat mudah dilakukan dengan biaya pembuatan yang murah dan bahan yang mudah didapat. Selanjutnya buat lubang kecil pada pipa PVC di seluruh bagian dengan jarak 1-3 cm tiap bolongan. Lubang biopori yang telah dibuat membentuk silindris, lalu dipasangkan dengan pipa PVC yang sudah dilubangi. Setelah dipasang lubang biopori diisi dengan sampah organik. Lubang Resapan Biopori (LBR) dapat dibuat dengan dan tanpa menggunakan pipa PVC. Jangka waktu pembuatan pupuk kompos biopori umumnya adalah 2-3 bulan, tetapi bisa lebih cepat (sekitar 15-30 hari) jika menggunakan aktivator mikroorganisme (MOL atau EM4). Tanpa aktivator, prosesnya lebih lama karena bergantung pada penguraian alami.



(a) Bor biopori



(b) Pipa PVC

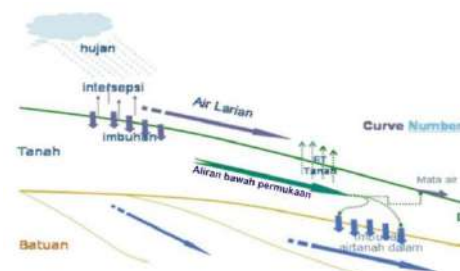


(c) Dop

Gambar 18. Peralatan biopori  
(Sumber: Ikhtisoliyah & Fatimah, 2025)

### III. BIOPORI DALAM PENGELOLAAN SUMBERDAYA AIR

Setiap tahun Indonesia mengalami alih fungsi lahan hijau yang berubah menjadi bangunan juga dalam pembangunan infrastruktur. Hal ini membuat terjadinya permasalahan dalam pengelolaan sumber daya air. Peningkatan penutupan daerah hijau atau permukaan tanah akan membuat meningkatnya limpasan air permukaan yang berakibat pada penurunan resapan air ke dalam tanah (Hidayat *et al.* 2021). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pembuatan lubang biopori merupakan salah satu langkah yang efektif. Peran utama Biopori (Lubang Resapan Biopori/LRB) berfungsi sebagai infiltrator alami yang mampu mengatasi masalah utama pada ekosistem, seperti mencegah terjadinya banjir, memperbaiki kualitas air tanah, dan menekan laju erosi. Adapun di sektor pertanian, seperti laju aliran permukaan (*run-off*) yang tinggi dan minimnya pengisian ulang air tanah (*recharge*).



Gambar 19. Aliran daur air  
(Sumber: Djuwansah & Nurlita, 2011)

Dalam lingkungan pertanian, tanah seringkali padat akibat penggunaan alat berat dan kurangnya bahan organik. Dengan adanya biopori dapat membuat saluran vertikal non-kapiler. Saluran ini memungkinkan air hujan meresap dengan cepat dari permukaan ke lapisan tanah yang lebih dalam, secara langsung mengurangi risiko banjir dan genangan di lahan budidaya. Hal ini mengakibatkan peningkatan laju infiltrasi, dimana biopori membuat air hujan tidak terbuang, melainkan tersimpan di lapisan akuifer dangkal dan zona perakaran.

Cadangan air tanah yang meningkat ini menjamin ketersediaan air lebih stabil bagi tanaman selama musim

kemarau, secara signifikan mengurangi kebutuhan irigasi dan meminimalisir risiko kegagalan panen akibat cekaman air. Dengan demikian, Biopori tidak hanya mengelola kelebihan air di musim hujan, tetapi juga menciptakan ketahanan air (*water resilience*) yang berkelanjutan untuk mendukung produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian.

#### IV. PENGARUH BIOPORI TERHADAP PRODUKTIVITAS TANAH PERTANIAN

Perbaikan kualitas tanah menjadi salah satu aspek penting dalam meningkatkan hasil pertanian, terutama pada lahan yang terdegradasi, seperti pemadatan tanah, rendahnya kandungan bahan organik, serta rendahnya aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam proses dekomposisi dan siklus hara. Berbagai teknologi konservasi tanah telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut, mulai dari pengolahan tanah minimum, penggunaan mulsa organik, hingga penerapan sistem drainase berkelanjutan. Salah satu inovasi sederhana yang memiliki dampak cukup besar terhadap fungsi tanah adalah teknologi LRB. Teknologi ini tidak hanya bertujuan meningkatkan resapan air, tetapi juga memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah melalui proses dekomposisi bahan organik di dalam lubang biopori.



Gambar 20. Budidaya Sayuran Organik dan Pengaplikasian Biopori  
(Sumber: Khadafi et al. 2024)

Peningkatan produktivitas tanah pertanian melalui penerapan teknologi biopori berkaitan erat dengan mekanisme perbaikan status kesuburan tanah, khususnya ketersediaan unsur hara makro. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Syarof *et al.* (2025) pada lahan Perkebunan kopi mengungkapkan bahwa penggunaan LRB dengan penambahan bahan organik dapat mengubah kondisi lingkungan tanah sehingga lebih mendukung pertumbuhan tanaman. Penelitian tersebut membuktikan bahwa biopori secara signifikan meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KTK), menetralkan pH tanah, serta meningkatkan ketersediaan Nitrogen, Fosfor, dan Kalium (NPK) yang dapat diserap oleh tanaman. Hasil penelitian tersebut juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Soemarno *et al.* 2021) di perkebunan durian, penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan biopori berisi bahan organik secara efektif dapat meningkatkan kadar Fosfor tanah, unsur hara ini

memiliki peran penting dalam mendukung proses pertumbuhan generatif dan pembentukan buah pada tanaman durian.

Selain aspek kesuburan tanah, pengaruh biopori terhadap peningkatan produktivitas lahan juga dapat dilihat dari respons pertumbuhan vegetatif tanaman yang dipicu oleh perbaikan sifat fisik dan biologis tanah. Aktivitas fauna tanah di dalam lubang biopori membantu menurunkan bobot isi tanah (*bulk density*) serta meningkatkan porositas, sehingga akar lebih mudah menembus tanah dan menyerap unsur hara (Ifadah dan Hanuf 2024).

#### V. PENERAPAN BIOPORI OLEH PETANI

Penerapan biopori berguna untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan dalam menjaga kesehatan dan kesuburan tanah, juga memperkuat ketahanan air tanah yang berguna pada musim kemarau. Penerapan biopori dengan sistem irigasi dan tanam dapat dilakukan dengan membuat lubang biopori di sekitar area tanaman dan jalur irigasi untuk meningkatkan resapan air ke dalam tanah. Biopori berfungsi menyerap air hujan atau air irigasi yang kemudian disimpan dalam tanah, sehingga ketersediaan air untuk tanaman menjadi lebih stabil, khususnya saat musim kemarau. Selain itu, biopori yang diisi dengan bahan organik membantu memperbaiki struktur dan kesuburan tanah, memperkuat penyerapan air dan nutrisi oleh akar tanaman (Jayasin *et al.* 2022). Penerapan biopori ini bisa dipadukan dengan sistem irigasi tetes atau mikro yang memberi air langsung ke zona akar tanaman secara efisien, sementara biopori menjaga kelembaban tanah lebih lama dan mencegah limpasan air.

Upaya peningkatan efisiensi pemupukan dan pengelolaan air pada tanaman untuk menghasilkan produktivitas yang optimal, mendorong petani untuk mulai beralih pada teknologi yang lebih ramah lingkungan dan lebih efisien. Salah satu nya melalui penerapan metode Biopori-Sludge, berdasarkan jurnal Tanjung *et al.* (2024) petani memanfaatkan Lubang Resapan Biopori sebagai metode alternatif untuk mengatasi permasalahan pemupukan manual yang selama ini dinilai tidak efektif dan memerlukan banyak waktu.

Pupuk yang digunakan umumnya berasal dari limbah ternak kambing dan sapi, sehingga metode ini juga dapat mendukung pemanfaatan limbah organik dan mengurangi ketergantungan penggunaan pupuk kimia. Berbeda dengan metode pemupukan manual, metode *Biopori-Sludge* yaitu teknik mengisi LBR dengan bahan organik maupun pupuk, memungkinkan hara dan air dapat langsung menjangkau zona perakaran, sehingga bisa cepat diserap oleh tanaman. Implementasi metode ini juga berkontribusi terhadap peningkatan kualitas tanah melalui aktivitas penguraian bahan organik, serta mendorong

praktik pertanian berkelanjutan dan lebih efisien bagi petani (Tanjung *et al.* 2024).



Gambar 21. Pemupukan cara Biopori-Sludge  
(Sumber: Tanjung *et al.* 2024)

## VII. PENUTUP

Berdasarkan uraian mengenai peran lubang biopori dalam pengelolaan sumber daya air dan peningkatan produktivitas pertanian, dapat dipahami LRB adalah rongga-rongga di dalam tanah yang terbentuk oleh aktivitas organisme seperti cacing, akar tanaman, rayap, serta fauna tanah lainnya. Keberadaan biopori berfungsi membantu mengatasi berbagai persoalan terkait pengelolaan air, karena bertindak sebagai jalur infiltrasi alami yang mampu mengurangi risiko banjir, memperbaiki mutu air tanah, serta menekan terjadinya erosi.

Dalam bidang pertanian, biopori juga berperan penting dalam mengurangi aliran permukaan (*run-off*) dan meningkatkan pengisian kembali air tanah (*recharge*). Tanah pertanian yang sering menjadi padat akibat penggunaan alat berat dan kurangnya bahan organik dapat diperbaiki melalui pembentukan saluran vertikal non-kapiler oleh biopori. Saluran ini memungkinkan air hujan masuk dengan cepat ke lapisan tanah yang lebih dalam, sehingga secara langsung menurunkan potensi banjir dan genangan di area pertanian. Pada akhirnya, biopori meningkatkan kemampuan tanah menyerap air, sehingga air hujan tidak terbuang percuma, tetapi tersimpan di zona perakaran dan akuifer dangkal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baguna FL, Tamnge F, Tamrin M. (2021). Pembuatan lubang resapan biopori (Irb) sebagai upaya edukasi lingkungan. *Kumawula: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 4(1): 131-136
- Chandra AA. (2021). Pengaruh sistem biopori untuk menangani genangan pada tanah lanau. *CRANE : Civil Engineering Research Journal*. 2(4): 18–24.
- Dein RSA, Ari IRD, Hariyani S. (2022). Dampak perubahan infiltrasi dan *run-off* terhadap limpasan permukaan dan banjir di Kota Cimahi. *Planning for Urban Region and Environment Journal (PURE)*. 11(2): 161-170.
- Diansari LE, Idrat V, Syafarina P. 2024. Sosialisasi Lubang Resapan Biopori Sebagai Alternatif Mengurangi Sampah Organik Skala Rumah Tangga. *Aptekmas Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*. 7(4):182-186.
- Djuwansah MR, Narulita I. (2011). Aplikasi Sistem Informasi Geografi Untuk Menduga Kuantitas Komponen Sumberdaya Air Bulanan Secara Spasial Dengan Metoda CN-NRCS, Tegangan Air Tanah dan Konduktivitas Hidraulik Di Hulu DAS Citarum *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 21(2): 89-103.
- Firdaus F. (2023). Difusi Teknologi Lubang Resapan Biopori di Musim Penghujan untuk Antisipasi Kelangkaan Air Sumur di Musim Kemarau: Indonesia. *Jurnal Abdimas Madani dan Lestari (JAMALI)*. 5(2): 118-129.

## VI. MANFAAT DAN TANTANGAN PEMANFAATAN LUBANG RESAPAN BIOPORI

Lubang Resapan Biopori (LBR) memiliki manfaat dalam penanggulangan masalah banjir maupun genangan air melalui fungsinya sebagai lubang resapan. Selain itu, Lubang Resapan Biopori dapat dijadikan sebagai alternatif dalam mengatasi permasalahan sampah organik yang sebelumnya sering dibakar dan menghasilkan polusi udara lalu dikonversi menjadi pupuk kompos melalui lubang biopori (Linda 2016). Dengan adanya Lubang Resapan Biopori, pengelolaan sampah organik secara efisien sekaligus dapat mendukung praktik pertanian dengan menghasilkan kompos sebagai output dari LBR. LBR juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat penumpukan sampah yang sulit terurai (Meiyuntariningsih *et al.* 2022).

Pemanfaatan biopori menghadapi sejumlah tantangan meskipun memiliki manfaat yang besar. Salah satu tantangan yang dihadapi adalah rendahnya kesadaran dan pemahaman masyarakat terhadap teknologi Lubang Resapan Biopori. Selain itu, meski Lubang Resapan Biopori berfungsi sebagai sarana untuk mengolah sampah organik, kebiasaan masyarakat yang cenderung hanya memilah sampah plastik menjadikan pemanfaatan Lubang Resapan Biopori kurang optimal dan menjadikannya tantangan tersendiri (Diansari *et al.* 2024).

Aspek dan pemantauan berkelanjutan juga menjadi tantangan, melalui program pengabdian masyarakat pembuatan Lubang Resapan Biopori seringkali hanya bersifat sementara tanpa pemantauan jangka panjang dan dukungan teknis. Edukasi terkait pemanfaatan Lubang Resapan Biopori saja tidak cukup, masyarakat perlu dorongan terus-menerus agar Lubang Resapan Biopori dapat digunakan secara berkelanjutan dan konsisten (Utomo *et al.* 2025).



- Hidayat A, Wibowo MA, Hatmoko JUD, Kistiani F, Hermawan F, Merukh SSH, Zachari M. (2021). Pembuatan Biopori Sebagai Upaya Peningkatan Laju Infiltrasi Dan Cadangan Air Tanah Serta Pengendalian Banjir. *Jurnal Pasopati*. 3(3): 129-133.
- Ifadah, NF, Hanuf A. 2024. Penerapan sistem biopori berkompos di kebun pepaya. *Jurnal Aplikasi Sains Teknologi Nasional*. 5(2): 72-77.
- Ikhtisoliyah dan Fathimah A. (2025). Strategi Pengelolaan Sumber Daya Air Tanah dengan Sumur Resapan Biopori di Desa Pongangan Kecamatan Manyar Kabupaten Gresik. *Bima Abdi : Jurnal pengabdian Masyarakat*. 5(1): 187-197.
- Jayasin MY, Ramelan AI, Kurniati A, Arsyah RJ, Mia NY, Pasha, DA. (2022). Pemanfaatan Teknologi Lubang Resapan Biopori Bagi Penguatan Ekonomi Berkelanjutan di Desa Sekotong Timur, Lombok Barat. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*. 5(1): 362-366.
- Khadafi MS, Kurniawan MR, Yudhanta MY, Abdulloh MZ, Destiaputri NM, Azalia N, Widadie F. (2024). Pelatihan Pertanian Organik pada Lahan Pekarangan dan Pengaplikasian Biopori sebagai Upaya Ketahanan Pangan di Desa Wonosari Kecamatan Gondangrejo Kabupaten Karanganyar. *In Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (SEHATI ABDIMAS)*. 7(1): 210-220.
- Linda R. 2016. Pemberdayaan ekonomi kreatif melalui daur ulang sampah plastik (studi kasus Bank Sampah Berlian Kelurahan Tangkerang Labuai). *Jurnal Al-Iqtishad*. 12 (1): 1–19.
- Manullang A, Nisa SK, Nuha MAU, Faizah NF, Pramudea W, Mustaqimah S, Istikomah H, Salim DH. 2025. Lubang resapan biopori: upaya pengurangan sampah organik dan restorasi kesuburan tanah. *Community Development Journal*. 6(4): 5931.
- Meiyuntariningsih, Tatik, Maharani A, Rizkinannisa JA, Hastiani FN. 2022. Pengolahan sampah dengan metode biopori. *Poltekita: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 3 (1): 113–22.
- Soemarno S, Nurin YM, Yunita DM, Hanuf AA. 2021. Aplikasi Lubang Resapan Biopori Berkompos terhadap Peningkatan Fosfor pada Agroekosistem Kebun Kopi Robusta. *Agrotechnology Research Journal*. 5(1):49.
- Syarof ZN, Soemarno S, Nopriani LS. 2025. Effect of Biopore Infiltration Hole on Soil Nutrient Availability and Nutrient Content of Coffee Leaves (*Coffea canephora*). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*. 14(1):49.
- Tanjung D, Putra BW, Purnamadewi YL, Hidayat R. 2024. Aplikasi Sistem Pemupukan Biopori Bambu Ramah Lingkungan Mendukung Produktivitas Kebun Buah Di Desa Runding, Kabupaten Madina. *Jurnal Resolusi Konflik, CSR dan Pemberdayaan (CARE)*. 9(2):8-16.
- Utomo AP, Nugraha AAA, Wulandari DA. 2025. Sosialisasi Dan Pelatihan Pembuatan Lubang Resapan Biopori Untuk Konservasi Air Dan Pengelolaan Limbah Organik Di Desa Gendoh. *Jurnal Pengabdian Indonesia*. 2(2):1-6.
- Virgota, Arben, Farista B, Kurnianingsih R, Sari BMP, Iskandar AI. 2021. Penerapan lubang resapan biopori sebagai upaya peningkatan kualitas lingkungan di Desa Darmaji. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*. 4 (2): 2–5.
- Wibowo T, Istiana A, Zakiah EZE. (2022). Pembuatan biopori untuk resapan air hujan dan pemanfaatan sampah organik. *BERNAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 3(3): 387-392.
- Wijaya SA, Soebiyakto G, Ma'suma M. (2019). Pembuatan lubang resapan biopori dan pupuk kompos cair dari sampah di RW IX, Kelurahan Kalirejo, Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang. *Jurnal Aplikasi Dan Inovasi Ipteks SOLIDITAS*. 2(2): 59-66.

# Pemanfaatan PGPR sebagai Inovasi Bioteknologi untuk Optimalisasi Pertanian Berkelanjutan

Finkan Ahista Puri, Divia Hilda Mardika, Ayla Helmi Putri Rahayu, Ricko Mardiansyah

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University

## RINGKASAN

Pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat menimbulkan tantangan besar terhadap sektor pertanian untuk memenuhi kebutuhan pangan secara cepat dan berkelanjutan. Alih fungsi lahan serta ketergantungan tinggi pada pupuk kimia menyebabkan degradasi kesuburan tanah, penurunan aktivitas mikroorganisme, dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi bioteknologi berbasis ekologi yang mampu meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus menjaga kesehatan tanah. Salah satu solusi yang ramah lingkungan adalah penggunaan pupuk hayati berupa PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) atau Rizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman. PGPR merupakan kelompok bakteri yang hidup di sekitar akar tanaman (rizosfer) dan berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui mekanisme secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung, PGPR memfiksasi nitrogen, melarutkan fosfat, menghasilkan fitohormon (auksin, sitokinin, giberelin), serta meningkatkan ketersediaan hara. Secara tidak langsung, PGPR bertindak sebagai agen biokontrol terhadap patogen dengan menghasilkan enzim dan antibiotik, serta memicu *Induced Systemic Resistance* (ISR) atau Sistem Induksi Resistensi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa aplikasi PGPR dapat meningkatkan tinggi tanaman, pertumbuhan akar, daya kecambah, dan hasil panen, serta menekan penyakit tanaman seperti layu fusarium. Selain efektif meningkatkan produktivitas, PGPR mudah dibuat dalam skala rumah tangga, menggunakan bahan lokal seperti akar bambu, alang-alang, atau putri malu, serta bahan tambahan berupa terasi, gula merah, dan dedak sebagai sumber nutrisi mikroba.

## I. PENDAHULUAN

**P**ertumbuhan jumlah penduduk terus meningkat seiring waktu sehingga menimbulkan tantangan besar dalam penyediaan kebutuhan akan pangan. Bertambahnya populasi secara langsung memperbesar tekanan terhadap sektor pertanian untuk menghasilkan produksi pangan yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih cepat. Disisi lain, alih fungsi lahan mengurangi luas lahan pertanian produktif. Hal tersebut menyebabkan para petani menggunakan pupuk kimia secara berlebihan sehingga mengeksploitasi lahan subur untuk mencukupi kebutuhan pangan. Pertanian saat ini sedang dihadapkan dengan permasalahan akan kesuburan tanah,

ketergantungan terhadap pupuk kimia, serta menurunnya kualitas lingkungan akibat penggunaan bahan sintesis secara berlebihan. Pupuk kimia lebih banyak digunakan karena dianggap lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan pupuk organik karena kebutuhannya lebih sedikit pada dosis hara yang sama (Ammurabi *et al.* 2020). Namun, penggunaan pupuk dan pestisida kimia secara berlebihan dalam jangka panjang justru menimbulkan berbagai masalah, seperti penurunan kesuburan tanah, pencemaran lingkungan, dan gangguan keseimbangan ekosistem. Penggunaan pupuk kimia secara berulang dapat mengurangi kesuburan tanah dan menurunkan aktivitas mikroorganisme tanah. Penggunaan pupuk kimia yang dilakukan secara intensif juga dapat menyebabkan degradasi lahan. Kondisi ini menuntut sektor pertanian untuk tetap menjaga keseimbangan lingkungan disamping meningkatkan produktivitas tanaman agar keberlanjutan sistem produksi tetap terjamin.

Adanya tantangan tersebut maka diperlukan inovasi berbasis ekologi yang dapat menjaga kesuburan tanah, kesehatan tanaman dan mempercepat produksi pertanian. Penggunaan pupuk hayati dapat menjadi kunci dalam mengurangi pupuk kimia. Pupuk hayati adalah pupuk yang menggunakan bahan aktif berupa mikroorganisme untuk meningkatkan hara pada tanaman (Jannah *et al.* 2022). Penambahan bakteri dapat menyuburkan dan menyehatkan tanaman, serta mengurangi pencemaran lingkungan. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah PGPR. PGPR dapat menjadi alternatif solusi dalam upaya mengurangi penggunaan pupuk kimia, peningkatan kesehatan tanah, dan peningkatan kualitas dan kuantitas hasil panen (Jannah *et al.* 2022). Penggunaan PGPR dapat menjadi solusi bioteknologi ramah lingkungan untuk meningkatkan produktivitas tanaman.

PGPR merupakan kelompok mikroba yang mampu mengolonisasi akar tanaman, mempengaruhi pertumbuhan tanaman melalui berbagai cara baik langsung maupun tidak langsung untuk meningkatkan pertumbuhan, serta melindunginya dari penyakit atau kerusakan akibat serangan serangga (Mohanty *et al.* 2021). Bakteri yang digunakan sebagai pemacu pada PGPR adalah bakteri tanah yang hidup di rizosfer. Adapun beberapa jenis bakteri yang teridentifikasi sebagai bakteri PGPR antara lain *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Acetobacter*, dan *Bacillus* (Ristiana *et al.* 2022). PGPR memiliki banyak keunggulan, selain ramah lingkungan, PGPR juga mudah dibuat terutama dalam skala rumah tangga. Bakteri PGPR

dapat berasal dari akar alang-alang, bambu dan putri malu. Oleh karena itu, literatur review ini dibuat untuk mengetahui mekanisme kerja, manfaat, dan aplikasi PGPR pada tanaman.

## **II. MEKANISME KERJA PGPR**

Rizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman merupakan sekelompok bakteri yang hidup di sekitar akar tanaman (rizosfer) melalui sekresi berbagai molekul pengatur serta terlibat dalam mendorong pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Vocciante *et al.* 2022) dan mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme. Cara kerja PGPR terdiri dari 2 mekanisme yaitu secara langsung dan tidak langsung. PGPR dengan mekanisme secara langsung dapat memfiksasi nitrogen, menghasilkan fitohormon, melarutkan fosfat, serta meningkatkan ketersediaan zat besi untuk memacu pertumbuhan tanaman (Candraningtyas dan Indrawan 2023). Pada dasarnya, prinsip kerja PGPR secara langsung adalah dengan mereduksi N, lalu mengubahnya menjadi nitrat yang akan diserap tanaman. Kemudian PGPR akan membawa N dan melepaskannya ke sitoplasma sel tanaman, sehingga memicu pembelahan sel (Harefa dan Lase 2024). PGPR dapat menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin, sitokinin, dan gibberelin (Harefa dan Lase 2024). Sementara PGPR dengan mekanisme secara tidak langsung dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan menginduksi respons pertahanan tanaman terutama dari serangan hama.

PGPR dapat membantu pertumbuhan tanaman dengan fiksasi nitrogen yang dilakukan dari udara, sehingga menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman. Tanaman memerlukan PGPR yang mempunyai kemampuan untuk membantu proses pengambilan N bebas agar dapat memenuhi kebutuhan unsur hara N pada tanaman, baik yang bersimbiosis secara langsung dengan tanaman maupun yang non-simbiotik. Rhizobium adalah bakteri simbiotik yang mampu menyediakan hara bagi tanaman dengan bersimbiosis dan berkolonisasi akar tanaman legum. Apabila bersimbiosis dengan tanaman legum, kelompok bakteri ini akan menginfeksi akar tanaman dan membentuk bintil akar. Rhizobium hanya dapat memfiksasi N bebas bila berada di dalam bintil akar dari tanaman legum (Jannah *et al.* 2022).

Selain itu, PGPR yang baik mampu menghasilkan asam indolasetat (IAA) yang merupakan auksin alami yang berguna merangsang pertumbuhan akar, meningkatkan pertumbuhan buah, dan membantu tanaman pulih dari stres, serta dapat memfiksasi nitrogen (N) di udara, dan juga melarutkan fosfor (P) terikat di dalam tanah sehingga fosfor tersedia untuk tanaman (Jannah *et al.* 2022). PGPR dapat membuat tanaman lebih tahan terhadap penyakit, karena sifat PGPR sebagai agen biokontrol dengan menghasilkan

antibiotik dan enzim yang mampu menekan pertumbuhan patogen dan memicu *Induced Systemic Resistance* (ISR) atau Sistem Induksi Resistensi. Mekanisme lain dari PGPR adalah pengurangan produksi etilen dengan cara menghasilkan enzim ACC deaminase, yang membantu tanaman mengatasi stres. Secara keseluruhan, PGPR meningkatkan kesehatan dan produktivitas tanaman melalui stimulasi pertumbuhan langsung, peningkatan ketersediaan nutrisi, serta perlindungan terhadap patogen.

## **III. MANFAAT PGPR UNTUK TANAMAN**

Penggunaan PGPR pada tanaman memiliki banyak manfaat. PGPR dapat dijadikan sebagai pengganti ketergantungan akan pupuk kimia dan dapat dipergunakan untuk pertanian berkelanjutan (Valeriano *et al.* 2023). PGPR berperan dalam melindungi tanaman dengan menghambat pertumbuhan patogen. PGPR juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Bakteri Pada PGPR tidak hanya memastikan ketersediaan nutrisi penting untuk tanaman, tetapi juga meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara. Selain memacu pertumbuhan tanaman, PGPR juga berperan penting untuk mempercepat pengomposan dan meningkatkan hasil panen (Sari dan Chatri 2024).

PGPR memiliki potensi besar untuk meningkatkan produksi pangan tanpa merusak lingkungan. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Riskiya *et al.* (2022) menunjukkan bahwa aplikasi PGPR dengan perendaman benih selama 24 jam sebelum ditanam dapat mengendalikan layu fusarium serta meningkatkan daya kecambah benih padi beras merah keramat. Adapun pada penelitian Candraningtyas & Indrawan (2023) menunjukkan bahwa tanaman yang diberi penambahan PGPR mengalami peningkatan tinggi tanaman, panjang daun, dan jumlah daun. Tanaman yang diberi PGPR di bagian akarnya terdapat bintil putih. Bintil putih pada akar efektif dalam menunjang pertumbuhan tanaman. Hal inilah yang menjadikan pertumbuhan tinggi tanaman dengan aplikasi PGPR menjadi lebih optimal jika dibandingkan dengan tanaman yang tidak menggunakan PGPR. Pemberian PGPR cair dengan dosis 10–20 mL dapat meningkatkan panjang akar tanaman menjadi lebih panjang serta dapat menambah bobot kering dan basah akar tanaman tersebut (Sitawati *et al.* 2022).

## **IV. APLIKASI PGPR DI LAPANG**

Metode pembuatan Rizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman diadaptasi dari Candraningtyas dan Indrawan (2023) dengan beberapa penyesuaian. Peralatan yang digunakan meliputi panci, kompor, sendok sayur, pisau, saringan, tiga botol air mineral ukuran 1,5 liter, *polybag*, gelas ukur 200 mL, serta mistar. Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari 3 bungkus terasi, gula merah sebanyak



200 gram, dedak  $\frac{1}{2}$  kg, kapur sirih sebanyak  $\frac{1}{2}$  sendok makan, air sebanyak 3 liter, akar tanaman seperti bambu, alang-alang, dan putri malu sebanyak 250 gram, tanah secukupnya, serta benih dan bibit tanaman yang akan digunakan.

### 1. Pembuatan Inokulan pada PGPR

Pembuatan inokulan PGPR diawali dengan mencacah akar tanaman hingga berukuran kecil, lalu memasukkannya ke dalam botol air mineral berkapasitas 1,5 liter. Botol kemudian diisi air hingga penuh agar seluruh akar terendam. Selama dua hari (48 jam), campuran ini dibiarkan tersimpan sehingga mikroorganisme alami yang menempel pada akar dapat berkembang dan membentuk larutan starter mikroba (inokulan) yang siap digunakan pada tahap selanjutnya.

### 2. Pembuatan Formulasi Cair PGPR

Tahap berikutnya adalah pembuatan formulasi cair PGPR. Tiga bungkus terasi, 200 gram gula merah, setengah kilogram dedak, setengah sendok kapur sirih, dan 1,5 liter air dicampurkan ke dalam panci, lalu dipanaskan hingga mendidih. Setelah mencapai titik didih, pemanasan dihentikan dan campuran dibiarkan mendingin hingga suhu hangat. Cairan yang telah hangat kemudian disaring untuk memisahkan ampas dengan filtrat. Penggunaan terasi digunakan sebagai sumber protein dan mineral yang baik untuk pertumbuhan bakteri PGPR. Gula juga berperan sebagai sumber energi bagi bakteri sehingga membantu mengaktifkan bakteri selama proses fermentasi. Penambahan dedak menjadi sumber nutrisi organik yang membantu meningkatkan populasi bakteri. Adapun kapur sirih digunakan untuk menyeimbangkan pH larutan agar sesuai dengan kondisi optimal pertumbuhan bakteri.

Filtrat tersebut selanjutnya dicampur kembali dengan 1,5 liter air dan sekitar 200 mL larutan inokulan. Setelah diaduk hingga merata, larutan PGPR dimasukkan ke dalam dua botol air mineral bersih berukuran 1,5 liter. Pastikan suhu hangat agar bakteri PGPR tidak mati saat inokulasi. Campuran ini kemudian disimpan selama 15 hari untuk memberi kesempatan mikroorganisme berkembang optimal. Selama masa fermentasi, perubahan warna, aroma, dan munculnya endapan diamati serta dicatat sebagai bagian dari proses pemantauan kualitas PGPR. Buka tutup botol minimal 3 hari, agar gas yang ada di dalam botol keluar dan tidak menimbulkan ledakan. Dengan rangkaian proses ini, diharapkan formulasi PGPR yang dihasilkan lebih efektif dan siap mendukung peningkatan pertumbuhan tanaman. Semakin lama waktu inkubasi, maka jumlah bakteri yang dihasilkan akan semakin banyak. PGPR yang baik memiliki aroma hasil fermentasi yang khas dan

menyengat dan ditandai dengan adanya gas dan gelembung (Sandiase *et al.* 2023).

Waktu Inkubasi	Karakteristik	
	Bau	Warna
1	++++ (sangat bau menyengat dan sangat keruh)	++++ (coklat)
5	+++ (berbau menyengat dan keruh)	+++ (coklat muda)
10	++ (agak berbau menyengat)	++ (oranye)
15	+ (sedikit berbau menyengat dan jernih)	+ (kuning)

Tabel 8. Karakteristik PGPR

Sumber : Candraningtyas dan Indrawan (2023)

### 3. Pengaplikasian PGR pada Tanaman

Setelah PGPR siap digunakan, tahap berikutnya adalah pengaplikasian pada benih dan bibit tanaman. PGPR diaplikasikan dengan mengencerkan 5 mL PGPR ke dalam 1 liter air yang dapat digunakan untuk 2-3 hari (Candraningtyas dan Indrawan 2023). Aplikasi PGPR pada benih dilakukan dengan merendam benih dalam larutan PGPR selama beberapa jam, biasanya sekitar 6 jam. Perendaman ini dilakukan agar bakteri pada PGPR dapat mengoloni benih sejak awal dan membentuk pelindung disekitar benih untuk melindungi benih dari serangan hama dan penyakit, serta meningkatkan proses kecambah.

Penggunaan PGPR pada bibit dilakukan saat berumur sekitar 15 hari dan telah berkecambah yang dipindahkan ke dalam polybag berisi media tanam berupa tanah. Setiap polybag diisi beberapa bibit sesuai kebutuhan pengamatan. Larutan PGPR diaplikasikan langsung ke area perakaran dengan cara menyiramkannya pada pangkal tanaman menggunakan takaran yang seragam. Langkah ini bertujuan membantu mikroorganisme bermanfaat berkolonisasi di zona akar sehingga mampu mendukung pertumbuhan tanaman. Selama masa pertumbuhan, tanaman diamati secara berkala untuk melihat respons terhadap pemberian PGPR, meliputi perkembangan akar, kekuatan batang, warna daun, serta pertambahan tinggi. Observasi ini menjadi bagian penting untuk menilai efektivitas formulasi PGPR yang telah dibuat.

Hasil penelitian yang dilakukan Ollo *et al.* (2019) menunjukkan bahwa aplikasi PGPR dapat meningkatkan variabel vegetatif tanaman diantaranya tinggi tanaman, jumlah daun, volume akar, berat basah dan berat kering tanaman cabai.

## V. PENUTUP

Rizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman sebagai inovasi bioteknologi dapat mendukung peningkatan produktivitas tanaman melalui pendekatan ramah lingkungan. Kemampuannya dalam memperbaiki kesuburan tanah, meningkatkan efisiensi penyerapan hara, serta melindungi tanaman dari serangan hama dan penyakit menjadikan PGPR sebagai alternatif pengganti pupuk kimia. Selain memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman, penggunaan PGPR juga mampu menjaga kesehatan ekosistem tanah dan mendukung pertanian berkelanjutan. Kemudahan formulasi dan aplikasi PGPR, bahkan pada skala rumah tangga, membuka peluang besar untuk diterapkan secara luas oleh petani. Pemanfaatan bahan lokal sebagai sumber mikroba dan nutrisi menjadikan PGPR ini murah, praktis, dan adaptif terhadap berbagai kondisi lapang. Dengan demikian, PGPR tidak hanya menawarkan manfaat agronomis, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan dampak negatif penggunaan pupuk kimia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ammurabi SD, Anas I, Nugroho B. 2020. Substitusi Sebagian pupuk kimia dengan pupuk organik hayati pada jagung (*Zea mays*). *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*. 22(1): 11-12.
- Candraningtyas CF, Indrawan M. 2023. Analisis efektivitas penggunaan plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) untuk peningkatan pertanian berkelanjutan. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*. 10(2): 82-90.
- Harefa O, Lase NK. 2024. Peningkatan produktivitas tanaman padi melalui aplikasi bakteri PGPR (plant growth promoting rhizobacteria). *PENARIK: Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*. 1(2): 102-103.
- Jannah M, Jannah R, Fahrussyah. 2022. Kajian literatur: penggunaan plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) untuk meningkatkan pertumbuhan dan mengurangi pemakaian pupuk anorganik pada tanaman pertanian. *Jurnal Agroteknologi Tropika Lembab*. 5(1): 41-49.
- Mohanty, P., Singh, P.K., Chakraborty, D. Mishra, S. Pattnaik, R. 2021. Insight into the role of PGPR in sustainable agriculture and environment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 1-12
- Olo, L., Siahaan, P., & Kolondam, B. 2019. Uji Penggunaan PGPR (Plant Growth - Promoting Rhizobacteria) terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum L.*). *Jurnal MIPA*, 8(3), 150-155.
- Riskiyya, E, M., Budi, I.S., Marianan. 2022. Efektifitas Waktu Aplikasi PGPR Untuk Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium Pada Persemaian Padi Beras Merah Keramat. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*. Vol 5(02).
- Ristiana, F., Tumbelaka, M.S., Nangoi, R. 2022. The effect of PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) bio fertilization on the growth and production of lettuce (*Lactuca sativa L.*). *J Agro Terapan*, 3(3), 43-51
- Sandiase, I. K., Widiyanti, N. L. P. M., & Warpala, I. W. S. (2023). Variasi Konsentrasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Rendaman Akar Bambu Menghambat Pertumbuhan Jamur *Fusarium oxysporum* Secara In Vitro. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 10-20.
- Sari FD dan Chatrri M. 2024. Pemanfaatan PGPR: Solusi Ramah Lingkungan untuk Meningkatkan Kesuburan Tanaman. *Prosiding Semnasbio*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Sitawati, M.B., Sintawati, Fajriani, S. 2022. Efektivitas Plant Growth Promotion Rhizobacteria (PGPR) dan Pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan pembungaan tanaman *Aster Ericoides* (*Symphytotrichum ericoides*). *J. Hort. Indonesia*, 13(2), 64-71.
- Ammurabi SD, Anas I, Nugroho B. 2020. Substitusi Sebagian pupuk kimia dengan pupuk organik hayati pada jagung (*Zea mays*). *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*. 22(1): 11-12.
- Valerianinfo G, Mawandha HG, Kristalisasi EN. 2023. Pengaruh aplikasi PGPR (*plant growth promoting rhizobacteria*) dan air leri terhadap pertumbuhan bibir kelapa sawit di pre nursery. *Agroista: Jurnal Agroteknologi*. 7(1): 61-61.
- Vocciante M, Grifoni M, Fusini D, Petruzzelli G, Franchi E. 2022. The role of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Mitigating Plant's Environmental Stresses. *Applied Sciences MDPI*. 12. 1-16.

# Pemupukan Presisi Jagung dan Kedelai Berbasis KNN

Sauqi Muhammad Faiq<sup>(1)</sup> dan Muhammad Kemal Ma'ruf<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Fakultas Sekolah Vokasi, IPB University

<sup>(2)</sup> Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Ibn Khaldun

## RINGKASAN

Di tengah gelombang Revolusi Industri 4.0, sektor pertanian menghadapi tuntutan untuk beralih dari praktik konvensional menuju pertanian presisi (*precision agriculture*). Salah satu tantangan mendasar di lapangan adalah penentuan dosis pemupukan yang akurat namun cepat, mengingat variasi status hara tanah yang sangat beragam di Indonesia. Meskipun pedoman resmi telah tersedia, aksesibilitas dan interpretasi data sering menjadi kendala. Artikel ini mengupas pemanfaatan teknologi *Machine Learning* (Pembelajaran Mesin), khususnya algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN), untuk digitalisasi rekomendasi pemupukan. Tulisan ini akan membahas mulai dari konsep dasar kecerdasan buatan, cara kerja algoritma KNN, hingga penerapannya dalam menentukan dosis pupuk SP-36 dan KCl untuk tanaman jagung dan kedelai berdasarkan status hara Fosfor (P) dan Kalium (K). Penerapan sistem ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi mampu memberikan rekomendasi yang konsisten, meminimalisir kesalahan manusia (*human error*).

## II. PENDAHULUAN

Sektor pertanian nasional kini menghadapi tantangan multidimensi yang krusial. Peningkatan kebutuhan pangan akibat laju pertumbuhan penduduk harus diimbangi dengan upaya mempertahankan produktivitas lahan di tengah degradasi kualitas tanah dan tuntutan efisiensi biaya produksi. Dalam agribisnis tanaman pangan, khususnya jagung dan kedelai, pemupukan merupakan elemen vital yang berkontribusi signifikan terhadap struktur biaya sekaligus menjadi determinan utama produktivitas. (Pamuncak, R., 2018).

Secara historis, praktik pemupukan seringkali mengandalkan pendekatan konvensional atau rekomendasi umum yang mengabaikan variabilitas spasial lahan. Padahal, karakteristik kimia tanah menunjukkan heterogenitas yang tinggi antar lokasi. Suatu wilayah mungkin memiliki kandungan Fosfor yang tinggi namun defisit Kalium, sedangkan wilayah lainnya menunjukkan kondisi sebaliknya. Ketidaksesuaian aplikasi pupuk dengan status hara aktual (pemupukan inefisien) berimplikasi pada inefisiensi ekonomi bagi petani dan potensi degradasi lingkungan akibat residu agrokimia. (Mansyur, N.I., 2021).

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) pada tahun 2021 melalui unit kerja pertaniannya telah menghasilkan data komprehensif terkait

pemetaan status hara dan penyusunan acuan dosis pupuk spesifik lokasi. Kendati demikian, diseminasi dan aksesibilitas data ilmiah tersebut seringkali menghadapi kendala teknis di tingkat lapangan, sehingga sulit dimanfaatkan secara *real-time* oleh praktisi pertanian.

Dalam konteks ini, integrasi teknologi informasi dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) memegang peranan strategis. Teknologi bertransformasi menjadi instrumen pendukung keputusan yang mampu menganalisis data kompleks dan menyajikannya menjadi rekomendasi agronomis yang presisi dan aplikatif. (Nurani, A., 2025).

## II. MACHINE LEARNING DALAM AGROINFORMATIKA

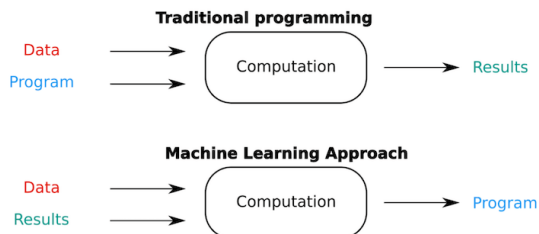
Integrasi teknologi komputasi dalam ilmu pertanian, atau yang dikenal sebagai agroinformatika, menjadi landasan fundamental dalam pengembangan sistem pendukung keputusan modern. Pemahaman mendalam mengenai paradigma *Machine Learning* (ML) diperlukan untuk mengapresiasi bagaimana sistem ini mampu mentransformasi data mentah menjadi wawasan agronomis yang bernilai tinggi.

### 1. Definisi dan Konsep Dasar

*Machine Learning* didefinisikan secara akademis sebagai sub-disiplin kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang memfasilitasi sistem komputer untuk mengakuisisi pengetahuan inferensial melalui ekstraksi pola dari himpunan data (*dataset*), tanpa memerlukan pemrograman eksplisit untuk setiap aturan keputusan (Muflikhah, L., 2023).

Berbeda dengan pendekatan pemrograman tradisional yang bersifat deterministik, di mana manusia harus menyusun logika *if-then* (*rule-based*) secara manual untuk setiap kemungkinan skenario, algoritma *Machine Learning* beroperasi melalui pendekatan induktif. Sistem ini "belajar" dengan cara memproses data historis (data latih) untuk membangun model matematika yang mampu menggeneralisasi aturan dan memprediksi hasil pada data baru yang belum pernah ditemui sebelumnya (Kusuma, P.D., 2023).





Gambar 22. Perbedaan *Machine Learning* dengan *Traditional Programming*  
(Sumber: SeeMe.ai)

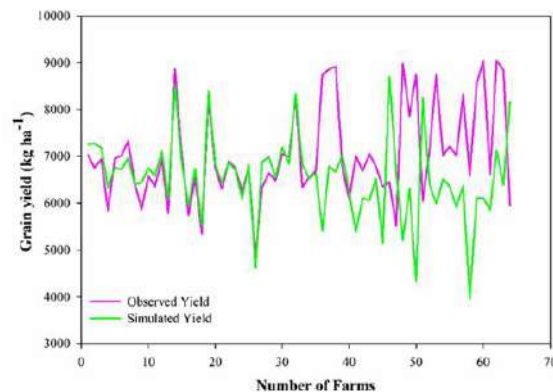
## 2. Urgensi dan Preseden Implementasi pada Sektor Agraris

Sektor pertanian modern telah berevolusi menjadi lingkungan yang kaya data (*data-rich environment*), atau sering disebut sebagai era *Big Data Agriculture*. Sumber data mencakup variabilitas pedologi (tanah), klimatologi (cuaca), hingga data fenotipe tanaman yang diperoleh melalui citra satelit maupun sensor *Internet of Things* (IoT) (Kurniawati, S., 2020).

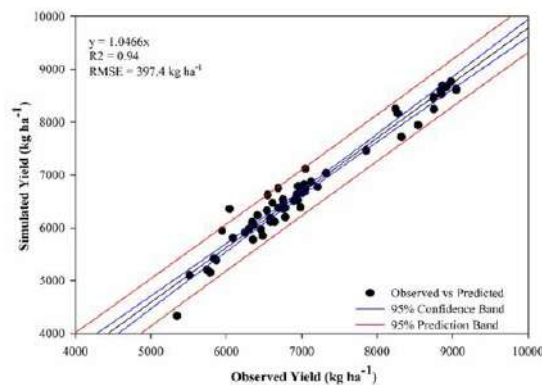
Kapabilitas kognitif manusia memiliki batasan inheren dalam memproses volume, kecepatan, dan variasi data tersebut secara simultan untuk pengambilan keputusan *real-time*. Oleh karena itu, implementasi ML menjadi imperatif strategis sebagai instrumen komputasi yang mampu menjembatani kesenjangan antara kompleksitas data biofisik dengan kebutuhan presisi manajemen di lapangan.

Literatur ilmiah mencatat berbagai keberhasilan penerapan ML dalam jurnal-jurnal agroinformatika terkemuka. Sebagai contoh ilustratif:

- Klasifikasi Kualitas Tanah:** Studi yang dipublikasikan dalam *Computers and Electronics in Agriculture* sering menggunakan algoritma seperti *Support Vector Machine* (SVM) atau *K-Nearest Neighbors* (KNN) untuk mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah berdasarkan parameter N, P, K, dan pH tanah secara otomatis, menggantikan interpretasi manual yang memakan waktu (Patrício, D.i., 2018).
- Prediksi Hasil Panen (*Yield Prediction*):** Riset dalam jurnal *Remote Sensing* banyak memanfaatkan *Neural Networks* untuk memprediksi tonase hasil panen jagung dengan menganalisis citra multispektral satelit yang dikombinasikan dengan data curah hujan historis (Ahmad, I., 2018).
- Deteksi Penyakit Tanaman:** Aplikasi *Deep Learning* (CNN) telah terbukti memiliki akurasi tinggi dalam mendeteksi hama atau penyakit pada daun kedelai hanya melalui input citra digital, sebagaimana sering dikutip dalam jurnal *Frontiers in Plant Science* (Liu, H., 2023).



(a) Perbandingan Prediksi Hasil Panen dengan Observasi Langsung menggunakan *Machine Learning*



(b) Korelasi Prediksi Hasil Panen dengan Observasi Langsung Menggunakan *Machine Learning*

Gambar 23. Contoh Hasil Implementasi *Machine Learning* untuk Prediksi Hasil Panen  
(Sumber: Ahmad, I., 2018)

## III. ALGORITMA *K-NEAREST NEIGHBORS* (KNN)

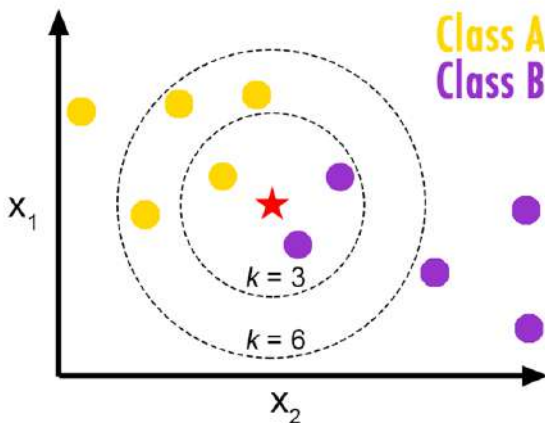
Pemilihan algoritma dalam pengembangan sistem cerdas harus disesuaikan dengan karakteristik masalah. Untuk kasus rekomendasi pemupukan yang berbasis pada klasifikasi data referensi (tabel acuan), algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) dinilai sebagai pendekatan yang paling efektif dan efisien (Halim, A.A.D., 2021).

### 1. Prinsip Dasar Klasifikasi Spasial

Algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) merupakan metode klasifikasi *non-parametric* yang beroperasi berdasarkan prinsip kedekatan jarak dalam ruang fitur (*feature space*). Asumsi dasar yang mendasari algoritma ini adalah bahwa data-data yang memiliki karakteristik serupa akan cenderung menempati koordinat yang berdekatan dalam ruang vektor (Arifin, Z., 2019).

Dalam aplikasi pemupukan presisi, setiap kombinasi status hara lahan direpresentasikan sebagai titik koordinat. Algoritma tidak membuat asumsi distribusi data sebelumnya, melainkan melakukan klasifikasi terhadap data baru (lahan target) berdasarkan mayoritas

kategori dari  $k$  data terdekat (data acuan) yang mengelilinginya.



Gambar 24. Prinsip Algoritma KNN  
(Sumber: doditsuprianto.blogspot)

## 2. Justifikasi Pemilihan Algoritma KNN

- Transparansi Model (*Explainability*):** KNN memiliki struktur logika yang transparan dan mudah diinterpretasikan. Hal ini krusial untuk membangun kepercayaan (*trust*) di kalangan penyuluh pertanian, mengingat keputusan yang diambil dapat dijelaskan secara logis berdasarkan kemiripan dengan data acuan (Zhu, W., 2023).
- Presisi terhadap Data Referensi:** Mengingat sistem rekomendasi pupuk nasional mengacu pada tabel standar (*lookup table*) yang bersifat deterministik, KNN memiliki keunggulan dalam memetakan input petani secara eksak ke kategori yang sesuai dalam tabel acuan tanpa deviasi yang signifikan (Hidayatullah, V.A.D., 2021).
- Adaptabilitas (*Adaptability*):** Algoritma ini bersifat *lazy learning*, artinya model tidak memerlukan proses pelatihan ulang (*retraining*) yang kompleks saat terjadi penambahan data baru. Apabila terdapat pemutakhiran rekomendasi dosis dari otoritas terkait (Balitbangtan), basis data cukup diperbarui, dan sistem akan secara otomatis menyesuaikan rekomendasi (Lukman, S., 2024).

## IV. FISILOGI TANAMAN DAN HETEROGENITAS NUTRISI TANAH

Substansi biologis dari sistem rekomendasi ini berpusat pada dua makronutrien esensial: Fosfor (P) dan Kalium (K). Pemahaman mendalam mengenai peran fisiologis kedua unsur ini menjadi dasar penentuan logika dosis pada komoditas Jagung dan Kedelai.

### 4. Peran Fisiologis Makronutrien

- Fosfor (P):** Unsur ini berperan fundamental dalam transfer energi (ATP) dan konstituen asam nukleat. Pada fase vegetatif awal tanaman jagung dan kedelai,

ketersediaan P yang memadai sangat krusial untuk perkembangan sistem perakaran. Pada fase generatif, P esensial untuk pembentukan biji dan polong yang optimal. Defisiensi P dapat bermanifestasi pada terhambatnya pertumbuhan (*stunting*) dan penurunan kualitas hasil panen (Rianditya, O.D., 2022).

- Kalium (K):** Kalium berfungsi sebagai aktivator enzim dan regulator osmotik. Perannya vital dalam pengaturan turgiditas sel (pembukaan stomata) serta translokasi asimilat hasil fotosintesis. Secara agronomis, K meningkatkan resistensi tanaman terhadap cekaman biotik (penyakit) dan abiotik (kekeringan), serta memperkuat batang jagung untuk mencegah *lodging* (rebah) (Rosawanti, P., 2019).



Gambar 25. Fungsi Kalium bagi Tanaman  
(Sumber: npkmutiara.com)

## 5. Heterogenitas Status Hara Lahan Sawah

Buku acuan Balitbangtan meng-klasifikasikan status hara tanah ke dalam tiga kategori ordinal: Rendah, Sedang, dan Tinggi.

- Tanah dengan status Rendah mengindikasikan defisit hara yang signifikan, sehingga memerlukan dosis pupuk korektif yang tinggi (Puja, I.N., 2018).
- Tanah dengan status Tinggi mengindikasikan kejenuhan hara, sehingga aplikasi pupuk harus diminimalisir (*dosis maintenance*) untuk mencegah toksisitas tanaman dan eutrofikasi lingkungan (Yusron, M., 2018).

Kompleksitas muncul akibat variabilitas spasial di mana status P dan K seringkali tidak berkorelasi linier. Sistem cerdas diperlukan untuk menangani permutasi kondisi ini secara presisi tanpa ambiguitas.

## V. METODOLOGI PENGEMBANGAN SISTEM REKOMENDASI

Sistem rekomendasi yang dikembangkan merupakan sintesis antara prinsip agronomi dan algoritma komputasi. Berikut adalah tahapan teknis pengembangan sistem:

### 1. Transformasi Data Kategorikal (*Data Encoding*)

Algoritma komputasi memproses data dalam format numerik. Oleh karena itu, data kualitatif status hara harus ditransformasikan melalui proses encoding (Guntara, M., 2025).

- Variabel Status Hara: Dikonversi menjadi skala ordinal (Rendah = 1, Sedang = 2, Tinggi = 3).
- Variabel Komoditas: Dikonversi menjadi kode biner atau integer (Jagung = 0, Kedelai = 1).

Transformasi ini memungkinkan kondisi lahan direpresentasikan sebagai vektor matematis dalam ruang dimensi, misalnya koordinat (1, 3) untuk lahan dengan P Rendah dan K Tinggi.

### 2. Kontruksi Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*)

Sistem ini didukung oleh basis data yang berfungsi sebagai *training* set. Data ini bersumber langsung dari Tabel Dosis Pupuk Balitbangtan yang telah divalidasi. Setiap entri data merepresentasikan titik referensi yang menghubungkan kondisi tanah (fitur) dengan dosis pupuk (label). Contoh representasi data:

[ P = 1, K = 1, Tanaman = Jagung ] → Label: SP-36 150 kg, KCl 100 kg

### 3. Metrik Pengukuran Jarak (*Distance Metrics*)

Mekanisme inferensi dilakukan dengan menghitung jarak antara vektor input (lahan baru) dengan seluruh vektor dalam basis pengetahuan. Metrik yang digunakan adalah *Euclidean Distance*, yang mengukur jarak lurus antara dua titik dalam ruang Euclidean. Vektor referensi dengan jarak terpendek (*minimum distance*) akan diidentifikasi sebagai solusi rekomendasi yang paling relevan.

## VI. ARSITEKTUR INPUT DAN MATRIKS KEPUTUSAN DOSIS

Desain sistem difokuskan pada simplifikasi proses pengambilan keputusan operasional. Pengguna tidak dibebani dengan kalkulasi manual, melainkan cukup menyediakan parameter kunci yang kemudian diproses melalui matriks keputusan internal.

#### 1. Parameter Input Variabel

Untuk menghasilkan output presisi, sistem mensyaratkan tiga parameter input yang diperoleh dari hasil analisis tanah (Uji Tanah Sawah/PUS):

- Jenis Komoditas: Variabel kategorikal (Jagung atau Kedelai).
- Status Hara Fosfor (P): Variabel ordinal (Rendah, Sedang, atau Tinggi).
- Status Hara Kalium (K): Variabel ordinal (Rendah, Sedang, atau Tinggi).

### 2. Matriks Keputusan Berbasis Standar (*Lookup Table*)

Algoritma KNN akan memetakan parameter input ke dalam matriks keputusan berikut, yang merupakan representasi digital dari standar rekomendasi Balitbangtan:

Status P	Status K	Dosis SP-36 (kg/ha)	Dosis KCl (kg/ha)
Rendah	Rendah	150	100
Rendah	Sedang	150	75
Rendah	Tinggi	150	50
Sedang	Rendah	125	100
Sedang	Sedang	125	75
Sedang	Tinggi	125	50
Tinggi	Rendah	100	100
Tinggi	Sedang	100	75
Tinggi	Tinggi	100	50

Tabel 9. Matriks Rekomendasi Dosis Tanaman Jagung pada Lahan Sawah

Status P	Status K	Dosis SP-36 (kg/ha)	Dosis KCl (kg/ha)
Rendah	Rendah	100	100
Rendah	Sedang	100	75
Rendah	Tinggi	100	50
Sedang	Rendah	75	100
Sedang	Sedang	75	75
Sedang	Tinggi	75	50
Tinggi	Rendah	50	100
Tinggi	Sedang	50	75
Tinggi	Tinggi	50	50

Tabel 10. Matriks Rekomendasi Dosis Tanaman Kedelai pada Lahan Sawah

### 3. Validasi *Output* Rekomendasi

Sistem menjamin validitas *output* berupa nilai kuantitatif dosis (kg/ha) yang memiliki akurasi 100% terhadap tabel acuan. Hal ini mengeliminasi risiko deviasi yang sering terjadi pada perhitungan manual dan mempercepat proses diseminasi informasi teknologi pertanian.

## VII. ADAPTABILITAS SISTEM TERHADAP DINAMIKA AGROEKOSISTEM

Salah satu keunggulan fundamental dari pendekatan berbasis *Machine Learning* adalah sifatnya yang *data-driven* (berbasis data) dan bukan *rule-based* (berbasis aturan kaku). Karakteristik ini memberikan fleksibilitas tinggi bagi sistem untuk beradaptasi dengan variabilitas agroekosistem yang kompleks. Berikut adalah analisis kapabilitas sistem dalam menangani tipologi lahan yang beragam, ekstensifikasi komoditas, serta integrasi parameter litologi tanah (Bergen, K.J., 2019).



### 1. Adaptasi pada Tipologi Lahan

Algoritma KNN bekerja dengan memetakan pola berdasarkan referensi data latih (*training set*). Secara matematis, rumus perhitungan jarak (*Euclidean Distance*) bersifat agnostik terhadap tipe lahan, yang berarti algoritma tidak membedakan apakah data tersebut berasal dari ekosistem lahan sawah irigasi atau lahan kering (tegalan) (Attaallah, R.R., 2022).

Fleksibilitas ini memungkinkan sistem untuk diaplikasikan pada lahan kering dengan mekanisme substitusi basis data. Apabila *dataset* acuan diganti dengan "Tabel Rekomendasi Pemupukan Lahan Kering" (misalnya untuk Jagung Hibrida di lahan tadah hujan), algoritma akan secara otomatis menyesuaikan output rekomendasi tanpa memerlukan modifikasi pada struktur kode pemrograman. Dengan demikian, sistem ini dapat berfungsi sebagai *platform* universal yang mengakomodasi berbagai rezim pengelolaan lahan, asalkan tersedia data acuan resmi yang valid sebagai referensi data terdekat (Sinaga, J.W.N., 2025).

### 2. Ektensifikasi Skalabilitas Komoditas

Kemampuan sistem untuk menangani komoditas di luar Jagung dan Kedelai (seperti Padi, Kacang Tanah, atau Hortikultura) dapat dijelaskan melalui konsep penambahan Label Kelas (*Class Label*). Dalam arsitektur KNN yang dibangun, jenis tanaman merupakan salah satu variabel input kategorikal (Fitriani, E.E., 2022).

Sistem saat ini mengodekan Jagung sebagai (0) dan Kedelai sebagai (1). Untuk mengintegrasikan komoditas baru, seperti Padi Sawah, pengembangan hanya perlu menambahkan label baru (misalnya: Padi = 2) dan menginjeksikan data dosis rekomendasi padi ke dalam basis pengetahuan sistem. Algoritma KNN memiliki kapasitas untuk menangani *n-jumlah* komoditas secara simultan, selama karakteristik kebutuhan hara setiap komoditas telah terkuantifikasi dalam basis data. Hal ini menjadikan sistem sangat skalabel untuk dikembangkan menjadi aplikasi rekomendasi pertanian multikomoditas yang terintegrasi.

### 3. Integrasi Parameter Litologi dan Bahan Induk Tanah

Variabilitas bahan induk tanah (seperti vulkanik, aluvial, latosol, atau tanah berkapur) memiliki pengaruh signifikan terhadap retensi hara dan efisiensi pemupukan. Dalam perspektif *Machine Learning*, variabel jenis tanah atau bahan induk dapat diintegrasikan sebagai penambahan Dimensi Fitur (*Feature Dimension*) (Jia, B.B., 2019).

Saat ini, sistem beroperasi dalam ruang vektor 3-Dimensi (Status P, Status K, dan Jenis Tanaman). Untuk mengakomodasi faktor litologi, dimensi sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan variabel Jenis Tanah sebagai sumbu fitur baru.

- Mekanisme: Algoritma akan menghitung kedekatan jarak tidak hanya berdasarkan status hara, tetapi juga berdasarkan kesamaan jenis tanah.
- Contoh: Sistem akan mencari rekomendasi dari data historis yang memiliki karakteristik: [P Rendah, K Sedang, Tanaman Jagung, Tanah Aluvial].

Dengan pendekatan ini, rekomendasi yang dihasilkan akan jauh lebih spesifik dan presisi karena telah memperhitungkan faktor genesis tanah yang memengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman.

## VIII. ANALISIS POTENSI DAN KENDALA IMPLEMENTASI

Implementasi sistem berbasis kecerdasan buatan dalam ekosistem pertanian memerlukan analisis komprehensif terkait potensi manfaat serta mitigasi kendala operasional.

### 1. Adaptasi pada Tipologi Lahan

- Akselerasi Layanan Penyuluhan: Transformasi proses konsultasi menjadi real-time melalui perangkat seluler, meningkatkan responsivitas penyuluh terhadap kebutuhan petani.
- Standardisasi Rekomendasi: Mengeliminasi subjektivitas dan inkonsistensi antar-penyuluh. Sistem memastikan keseragaman rekomendasi teknis di seluruh wilayah untuk kondisi lahan yang identik.
- Efisiensi Sumber Daya Nasional: Penerapan secara masif berpotensi mengoptimalkan alokasi pupuk bersubsidi, memastikan distribusi berbasis kebutuhan riil agronomis (*evidence-based allocation*).

### 2. Tantangan Operasional

- Validitas Data Input: Akurasi output sistem sangat bergantung pada validitas data input. Tantangan utama terletak pada ketersediaan dan aksesibilitas perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS) bagi petani untuk menentukan status hara awal secara akurat.
- Adopsi Teknologi: Kesenjangan literasi digital di kalangan petani, khususnya generasi tua, memerlukan strategi pendampingan intensif dan desain antarmuka (*user interface*) yang intuitif.

## IX. PENUTUP

Transformasi menuju Pertanian 4.0 merupakan imperatif strategis dalam menjaga ketahanan pangan nasional. Integrasi algoritma *Machine Learning*, spesifiknya *K-Nearest Neighbors* (KNN), dalam sistem rekomendasi pemupukan membuktikan bahwa kompleksitas data agronomis dapat disederhanakan menjadi solusi praktis melalui intervensi teknologi.

Sistem ini didesain bukan untuk mensubstitusi peran penyuluh pertanian, melainkan sebagai instrumen

augmentasi yang meningkatkan kapasitas teknis penyuluh. Dengan mendelegasikan proses kalkulasi dosis kepada algoritma cerdas, penyuluh dapat mengalokasikan fokus pada aspek edukasi dan pendampingan di lapangan. Sinergi antara presisi data, kecerdasan buatan, dan kearifan agronomis diharapkan mampu menjadi katalisator dalam mewujudkan efisiensi dan keberlanjutan budidaya jagung dan kedelai di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I., Saeed, U., Fahad, M., Ullah, A., Habib ur Rahman, M., Ahmad, A., & Judge, J. 2018. Yield forecasting of spring maize using remote sensing and crop modeling in Faisalabad-Punjab Pakistan. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(10), 1701-1711.
- Arifin, Z., Shudiq, W. J., & Maghfiroh, S. 2019. Penerapan Metode Knn (K-Nearest Neighbor) Dalam Sistem Pendukung Keputusan Penerimaan Kip (Kartu Indonesia Pintar) Di Desa Pandean Berbasis Web Dan Mysql. *NJCA (Nusantara Journal of Computers and Its Applications)*, 4(1), 27-34.
- Attaallah, R. R. 2022. *Neural Network With Agnostic Meta-Learning Model for Face-Aging Recognition* (Doctoral dissertation, University of Malaya (Malaysia)).
- Bergen, K. J., Johnson, P. A., de Hoop, M. V., & Beroza, G. C. 2019. Machine learning for data-driven discovery in solid Earth geoscience. *Science*, 363(6433), eaau0323.
- Fitriani, E. E., & Yustanti, W. 2022. Perbandingan Kinerja Metode Problem Transformation-KNN dan Algorithm Adaptation-KNN pada Klasifikasi Multi-Label Pertanyaan Kotakode. *Journal of Emerging Information System and Business Intelligence (JEISBI)*, 3(3), 122-130.
- Guntara, M., & Astuti, F. D. 2025. Komparasi Kinerja Label-Encoding dengan One-Hot-Encoding pada Algoritma K-Nearest Neighbor menggunakan Himpunan Data Campuran. *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 9(2), 352-360.
- Halim, A. A. D., & Anraeni, S. 2021. Analisis klasifikasi dataset citra penyakit pneumonia menggunakan metode k-nearest neighbor (KNN). *Indonesian Journal of Data and Science*, 2(1), 01-12.
- Hidayatullah, V. A. D., Nilogiri, A., & Al Faruq, H. A. 2021. Klasifikasi Siswa Berprestasi Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor (KNN) Pada SMA Negeri 2 Situbondo Classification Of Achieving Students Using K-Nearest Neighbor (KNN) Method At SMA Negeri 2 Situbondo. *Jurnal Smart Teknologi*, 1(1), 2774-1702.
- Jia, B. B., & Zhang, M. L. 2019. Multi-dimensional classification via kNN feature augmentation. *In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (Vol. 33, No. 01, pp. 3975-3982).
- Kurniawati, S. 2020. Kinerja sektor pertanian di Indonesia. *In Prosiding Seminar Akademik Tahunan Ilmu Ekonomi Dan Studi Pembangunan* (Vol. 2020, pp. 24-31).
- Kusuma, P. D. 2020. *Machine Learning Teori, Program, dan Studi Kasus*. Deepublish.
- Liu, H., & Xu, Z. 2023. Machine vision and machine learning for plant phenotyping and precision agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1331918.
- Lukman, S., Loekito, J., & Yapinus, P. P. 2024. Comparative Study on Performance Evaluation of Eager versus Lazy Learning Methods. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 10(3), 420-429.
- Mansyur, N. I., Pudjiwati, E. H., & Murti Laksono, A. 2021. *Pupuk dan pemupukan*. Syiah Kuala University Press.
- Muflikhah, L., Mahmudy, W. F., & Kurnianingtyas, D. 2023. *Machine Learning*. Universitas Brawijaya Press.
- Nurani, A., Nabila, H. T. A., & Herlambang, I. B. 2025. PERAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM SISTEM IOT UNTUK PERTANIAN CERDAS. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 9(1), 1446-1455.
- Pamuncak, R., Arifin, B., & Kasymir, E. 2018. Peran penggunaan pupuk pada kinerja produksi tanaman pangan Indonesia. *Jurnal Ilmu Ilmu Agribisnis: Journal of Agribusiness Science*, 6(3), 236-241.
- Patrício, D. I., & Rieder, R. 2018. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and electronics in agriculture*, 153, 69-81.
- Puja, I. N., & Atmaja, I. W. D. 2018. Kajian status kesuburan tanah untuk menentukan pemupukan spesifik lokasi tanaman padi. *Agrotrop Journal of Agriculture Science*, 8(1), 1-10.
- Rianditya, O. D., & Hartatik, S. 2022. Pengaruh pemberian pupuk fosfor terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman tebu var. bululawang hasil mutasi. *Berkala Ilmiah Pertanian*, 5(1), 52-57.
- Rosawanti, P. 2019. Kandungan unsur hara pada pupuk organik tumbuhan air lokal: The nutrient content of organic fertilizers on local aquatic plants. *Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian dan Kehutanan*, 6(2), 140-148.
- Sinaga, J. W. N., Tampubolon, T. R. C., Simanjuntak, E. F., Sitanggang, D., & Rizal, R. A. 2025. Classification Of Hypertension Using K-Nearest Neighbor Based On Photoplethysmograph Data And Blood Pressure Estimator. *INOVTEK Polbeng-Seri Informatika*, 10(2), 1074-1084.

- Yusron, M., Wati, R. S., Setyorini, D., & Mutmainah, H. 2018. Penentuan dosis pupuk lahan sawah berdasarkan status hara fosfor dan kalium di lahan sawah Kabupaten Pandeglang. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 21(2), 149-158.
- Zhu, W., Huang, S., Lv, Y., Zheng, X., & Chen, J. 2023. What knowledge is needed? towards explainable memory for kNN-MT domain adaptation. *In Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2023* (pp. 2824-2836).

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

## Petunjuk bagi Penulis

### Ketentuan Umum

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

### Ruang lingkup

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

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

### Struktur

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

### Bentuk Naskah

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

### Judul Naskah

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

### Ringkasan

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

### Pendahuluan

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

### Topik bahasan

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

### Penutup

Berisi kesimpulan dari topik pembahasan.

### Daftar Pustaka

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

#### *Artikel Jurnal*

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

#### *Buku*

Bosc AN, Ghosh SN, Yang CT, Mitra A. 1991. Coastal Aquaculture Engineering. Oxford and IBH Pub. Co. 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.

### Penanggung Jawab

Asdianto, S.P., M.T

### Ketua Redaksi

Anggri Hervani, S.P., M.Sc

### Ketua Editor

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

### Sekretariat

Ferdiana Ayu Cahyaningtyas, A.Md

## TIM REDAKSI

### Editor

Ir. Rudi Eko Subandiono, M.Sc

Laelatul Qodaryani, S.Kom

Mety Maryanti, S.P

### Desain Sampul & Penata Isi

Andriyan Priyatna, S.I.Kom

