



Rita Parmawati dan Supriyanto

IMPLEMENTASI EKONOMI SIRKULAR

DALAM SISTEM PERTANIAN
BERKELANJUTAN

IMPLEMENTASI EKONOMI SIRKULAR

DALAM SISTEM PERTANIAN
BERKELANJUTAN



Buku ini tidak diperjualbelikan

Diterbitkan pertama pada 2026 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial Share Alike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Rita Parmawati dan Supriyanto

IMPLEMENTASI EKONOMI SIRKULAR

DALAM SISTEM PERTANIAN
BERKELANJUTAN

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan

© 2026 Rita Parmawati dan Supriyanto

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Implementasi Ekonomi Sirkular dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan / Rita Parmawati dan Supriyanto – Jakarta: Penerbit BRIN, 2026

xiv + 154 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN 978-634-7933-05-8 (*e-book*)

1. Ekonomi sirkuler
3. Indonesia

2. Pertanian berkelanjutan

631.58

Editor Akuisisi	: Risma Wahyu Hartiningsih
<i>Copy editor</i>	: Laila Febrina
Penata isi	: M. Isnaini, S. Imam Setyawan
Desainer sampul	: M. Isnaini, S. Imam Setyawan

Edisi pertama : September 2026



Diterbitkan oleh:

Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie,

Jl. M.H. Thamrin No. 8, Kb. Sirih,
Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

Whatsapp: +62 811-1064-6770

E-mail: penerbit@brin.go.id

Website: penerbit.brin.go.id



PenerbitBRIN



@Penerbit_BRIN



@penerbit.brin

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
PENGANTAR PENERBIT	ix
KATA PENGANTAR	xi
PRAKATA	xiii
 BAB I ARAH SEKTOR PERTANIAN DI INDONESIA	 1
A. Indonesia dan Sektor Pertanian	2
B. Arah Perkembangan Sektor Pertanian Indonesia	21
C. Masalah dan Tantangan Pertanian Indonesia	24
 BAB II PERTANIAN TERPADU TANPA LIMBAH SEBAGAI PELUANG PERTANIAN BERKELANJUTAN	 27
A. Latar Belakang Munculnya Konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah	 30
B. Tujuan dari Pengembangan Pertanian Terpadu tanpa Limbah	 33
C. Prinsip yang Membangun Pertanian Terpadu tanpa Limbah	 35
 BAB III PEMAHAMAN UMUM PERTANIAN TERPADU TANPA LIMBAH	 49
A. Dimensi Pembangunan Berkelanjutan dan Kaitannya dengan Konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah	 49
B. Manfaat Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah	 59
 BAB IV IMPLEMENTASI PERTANIAN TERPADU TANPA LIMBAH	 65

A.	Komponen dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah ..	66
B.	Vermikomposting	83
C.	Kendala yang dihadapi dalam Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia	88
BAB V	PROTOTIPE	91
A.	Langkah Persiapan dari Pembuatan Prototipe Pertanian Terpadu tanpa Limbah	92
B.	Rekomendasi Model Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang dapat Dikembangkan	94
C.	Model Ekonomi Sirkular pada Pertanian Terpadu tanpa Limbah	98
BAB VI	DAMPAK, MANFAAT, DAN KORELASI DENGAN KEBERLANJUTAN	101
A.	Konsep Pertanian Berkelanjutan	101
B.	Perspektif Pertanian Berkelanjutan	105
C.	Dampak dan Manfaat dari Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia	107
D.	Peluang Perkembangan Pertanian Berkelanjutan di Indonesia	112
E.	Faktor Pengembangan Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia	114
BAB VII	STRATEGI MEWUJUDKAN PERTANIAN SIRKULAR YANG BERKELANJUTAN	119
A.	Implementasi Sistem menuju Ekonomi Sirkular	119
B.	Langkah Positif Indonesia dalam Pengembangan Sektor Pertanian	122
	DAFTAR SINGKATAN DAN AKRONIM	125
	GLOSARIUM	127
	DAFTAR PUSTAKA	129
	BIODATA PENULIS	151
	INDEKS	153

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Nilai Kontribusi Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan terhadap PDB Tahun 2018–2021	7
Gambar 2.1	Luas Lahan Pertanian Global per Kapita (1961–2021)	28
Gambar 2.2	Posisi Pertanian Terpadu tanpa Limbah dalam Perkembangan Sistem Pertanian	31
Gambar 2.3	Prinsip dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah	37
Gambar 4.1	Contoh Praktik Rotasi Tanaman	68
Gambar 4.2	Gambaran Skenario Kombinasi Rotasi Tanaman dan Peternakan	70
Gambar 4.3	Contoh Ilustrasi Praktik Agroforestri antara Ternak Sapi dan Hutan	72
Gambar 4.4	Contoh Ilustrasi Praktik Integrasi Peternakan dengan Contoh Hewan Bebek dan Tanaman Padi	76
Gambar 4.5	Contoh Ilustrasi Praktik Akuakultur yang Dikombinasikan dengan Peternakan dan Pertanian ..	81
Gambar 4.6	Contoh Ilustrasi Praktik Vermikomposting dengan Pertanian dan Peternakan	84
Gambar 5.1	Model Pertanian Terpadu tanpa Limbah dengan Empat Elemen Penyusun	96
Gambar 5.2	Model <i>Circular Economy</i> pada Pertanian Terpadu tanpa Limbah	99
Gambar 6.1	Konsep <i>Triple Bottom Line</i>	103

Buku ini tidak diperjualbelikan

PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Sistem pertanian berkelanjutan adalah proses pendekatan dalam budidaya tanaman dan peternakan yang bertujuan untuk mencapai produksi pangan yang berkelanjutan dari segi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Sistem ini dapat dikembangkan dengan sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Prinsip utama dari sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah meliputi keragaman dan polikultur (*diversity and polyculture*), rotasi tanaman (*crop rotation*), integrasi ternak (*livestock integration*), pengomposan (*composting*), agroforesti (*agroforestry*), akuakultur (*aquaculture*), pengolahan air (*water management*), daur ulang biomassa (*biomass recycling*), pengolahan hama secara alami (*natural pest management*), dan integrasi energi terbarukan (*renewable energy integration*).

Buku *Implementasi Ekonomi Sirkular dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan* hadir untuk membuka, menginformasikan, dan memberikan wawasan masyarakat mengenai sistem pertanian berkelanjutan, dari latar belakang munculnya konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah, tujuan dan pengembangannya, prinsip yang membangun, implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah dan manfaatnya, hingga strategi mewujudkan pertanian sirkular yang

berkelanjutan. Buku ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber referensi bagi peneliti atau akademisi, praktisi bisnis pertanian, petani, penyuluh atau pemberdaya masyarakat, serta pelaku kebijakan pada berbagai level di tingkat pemerintahan dan profesional pengembangan sistem pertanian berkelanjutan.

Kami berharap hadirnya buku ini dapat menjadi referensi bacaan untuk menambah wawasan dan pengetahuan bagi seluruh pembaca. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

KATA PENGANTAR

Salah satu tantangan pada masa depan dalam rangka meningkatkan ketersediaan pangan adalah mengembangkan sistem pertanian berkelanjutan dengan meminimalkan limbah. Sistem pertanian berkelanjutan adalah proses pendekatan dalam budidaya tanaman dan peternakan yang bertujuan untuk mencapai produksi pangan yang berkelanjutan dari segi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Pada prinsipnya, sistem pertanian berkelanjutan berusaha untuk menjaga keseimbangan antara produktivitas pertanian, konservasi sumber daya alam, dan kesejahteraan sosial. Meminimalkan limbah merupakan salah satu sistem pertanian berkelanjutan yang dapat mendukung peningkatan produktivitas pertanian.

Buku ini memberikan informasi yang penting terkait sistem pertanian terpadu dengan pendekatan pertanian berkelanjutan yang bertujuan untuk meminimalkan timbulnya limbah dengan memaksimalkan efektivitas sumber daya. Sistem ini dapat dikembangkan dengan Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang bertujuan untuk memaksimalkan proses *input-output* sehingga dapat meminimalkan limbah pertanian. Tujuan akhirnya adalah mendorong ketahanan pangan berkelanjutan di tingkat individu dalam rumah tangga. Prinsip utama dari Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah ini meliputi keragaman dan polikultur (*diversity and polyculture*), rotasi tanaman (*crop rotation*), integrasi ternak (*livestock integration*), pengomposan (*composting*), agroforesti (*agroforestry*), akuakultur (*aquaculture*), pengolahan air (*water management*), daur ulang biomassa (*biomass recycling*), pengolahan hama secara alami (*natural pest management*), dan integrasi energi terbarukan (*renewable energy integration*).

Buku ini tidak diperjualbelikan

Penerapan Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah memerlukan perencanaan yang cermat, pengetahuan, dan adaptasi dengan kondisi setempat. Petani juga perlu dirangkul dengan pendekatan holistik, mengingat interaksi yang baik antar komponen atau *stakeholder* yang berbeda dapat menciptakan ekosistem yang seimbang dan berkelanjutan. Sementara itu, implementasi agribisnis pertanian berkelanjutan melibatkan penggabungan prinsip-prinsip pertanian berkelanjutan dengan praktik bisnis yang berfokus pada keberlanjutan dan tanggung jawab sosial. Hal ini memerlukan komitmen yang kuat dari semua pemangku kepentingan di sektor pertanian, termasuk petani, produsen, konsumen, pemerintah, dan organisasi terkait sehingga dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Pada akhirnya, produktivitas pertanian yang meningkat dapat memberikan manfaat secara ekonomi kepada petani, cadangan pangan untuk masyarakat tersedia dengan kualitas bagus dan harga terjangkau, serta memberikan dampak positif terhadap lingkungan.

Secara akademik, buku ini dikonstruksi melalui pendekatan kuantitatif dan kualitatif, baik dari hasil literatur revidu, kajian deduktif dan induktif, analisis kritis, maupun berbagai kebijakan yang kental dengan penulis. Oleh karena itu, buku ini direkomendasikan untuk dijadikan referensi, baik oleh para peneliti, akademisi, praktisi bisnis pertanian, petani, penyuluh atau pemberdaya masyarakat, pelaku kebijakan pada berbagai level di tingkat pemerintah, dan profesional pengembangan sistem pertanian berkelanjutan.

Saya mengucapkan terima kasih dan apresiasi kepada penulis yang telah mengulas sistem pertanian berkelanjutan dengan judul *Implementasi Ekonomi Sirkular dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan*. Secara pribadi maupun institusi, kami menyambut baik terhadap terbitnya buku ini. Semoga nilai-nilai yang disampaikan melalui buku ini dapat mendukung terwujudnya ketahanan pangan yang berlandaskan kedaulatan dan kemandirian.

Jakarta,
Kepala Badan Pangan Nasional
Arief Prasetyo Adi

PRAKATA

Sektor pertanian menjadi sektor unggulan yang menyumbang kebutuhan makanan dan nutrisi dari populasi yang ada di dunia, mengingat populasi di dunia semakin tahun semakin bertambah. Semakin banyak populasi, kebutuhan pun semakin meningkat. Untuk mengatasi hal tersebut, muncullah konsep “Pertanian Terpadu tanpa Limbah” yang kemudian dalam buku ini dilengkapi menjadi *Implementasi Ekonomi Sirkular dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan*. Sistem ini dianggap sebagai solusi bagi petani untuk mengelola lahannya secara produktif. Pertanian terpadu menggunakan beberapa inisiatif budidaya di area yang sama untuk menghasilkan pertanian yang lebih berkelanjutan. Sistem ini menggabungkan pertanian, peternakan, perikanan, dan kegiatan lain menggunakan lahan yang sama—memungkinkan petani untuk mendapatkan penghasilan tambahan daripada mengandalkan satu jenis tanaman (April, 2018).

Pemerintah Indonesia telah memberikan perhatian yang cukup besar terhadap rencana realisasi Pertanian Berkelanjutan. Salah satunya adalah dengan membuat berbagai regulasi untuk mendorong pengelolaan pertanian yang baik dan sesuai dengan kriteria pembangunan berkelanjutan. Salah satu hal yang diterapkan di Indonesia untuk mencapai hal ini adalah konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang tidak hanya memberikan manfaat kepada petani, tetapi juga kepada pemerintah sebagai pemangku kepentingan dalam pembuatan kebijakan.

Berfokus pada penerapan praktik pertanian yang berkelanjutan melalui Pertanian Terpadu tanpa Limbah, buku ini menghadirkan

pembahasan yang mendalam pada teori-teori di balik Pertanian Terpadu tanpa Limbah dan memberikan implementasi model ekonomi sirkular yang sesuai. Buku ini bermanfaat untuk mahasiswa, akademisi, ahli, dan praktisi apabila ingin mengembangkan sektor pertanian di wilayahnya menggunakan pendekatan ekonomi sirkular dan pertanian berkelanjutan yang sesuai dengan tujuan Pembangunan Berkelanjutan.

Dalam penyusunan buku ini, penulis berusaha menyajikan pemikiran dan teori-teori terbaru serta topik yang saat ini sedang berkembang. Kami menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari sempurna, dan kami sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan pada masa yang akan datang. Penulis mengucapkan terima kasih kepada BRIN yang memberikan kesempatan sehingga buku ini bisa terbit, Universitas Brawijaya, dan Pemerintah Daerah Kabupaten Pamekasan yang telah memberikan pengalaman bekerja sampai saat ini kepada penulis dan semua pihak yang telah membantu sampai terselesaikannya buku *Implementasi Ekonomi Sirkular dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan*.

BAB I

ARAH SEKTOR PERTANIAN DI INDONESIA

Pertanian termasuk ke dalam sektor strategis yang menopang perekonomian nasional sekaligus menjadi penentu utama dalam menjaga dan mewujudkan ketahanan pangan di Indonesia. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Tahun 2023, lebih dari 29% tenaga kerja nasional bekerja di sektor pertanian yang juga berkontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional. Namun, seiring berjalannya waktu, tantangan-tantangan sektor pertanian semakin kompleks, dari keterbatasan lahan produktif, degradasi kesuburan tanah, penurunan keanekaragaman hayati, perubahan iklim, serta volatilitas harga komoditas (FAO, 2021).

Konversi lahan pertanian menjadi salah satu tantangan terbesar sektor ini, yang mana pesatnya pertumbuhan penduduk di perkotaan telah meningkatkan kebutuhan terhadap hunian dan infrastruktur. Proses urbanisasi yang cepat di kota-kota besar, seperti Jakarta, Surabaya, dan Medan memicu alih fungsi lahan dalam skala signifikan, sebagian besar berasal dari lahan pertanian produktif. Tren alih fungsi ini terus meningkat dalam beberapa dekade terakhir. Hilangnya lahan pertanian tidak hanya mengurangi kapasitas produksi pangan, tetapi juga mengancam keberlanjutan sektor pertanian nasional (Al Rovik dan Purnomo, 2025). Ironisnya, Indonesia sebagai negara yang memiliki julukan sebagai negara agraris dan memiliki biodiversitas

yang melimpah, justru mulai kehilangan potensi lahan pangan yang dapat dimanfaatkan sehingga meningkatkan risiko kelangkaan pangan dan ketergantungan pada impor di masa depan.

Pendekatan pembangunan pertanian masa lalu yang berfokus pada intensifikasi dan ekstensifikasi memang mendorong peningkatan produksi, namun sering kali mengorbankan kelestarian lingkungan. Penggunaan bahan kimia yang berlebihan, pengolahan tanah yang intensif, dan sistem monokultur skala besar telah memicu degradasi lahan, polusi air, serta peningkatan emisi gas rumah kaca. Tantangan ini menuntut adanya inovasi sistem pertanian yang mampu mempertahankan produktivitas sekaligus menjaga keberlanjutan sumber daya. Dalam konteks inilah, Pertanian Terpadu tanpa Limbah muncul sebagai salah satu solusi potensial. Pertanian Terpadu tanpa Limbah mengintegrasikan berbagai komponen usaha tani—seperti tanaman, peternakan, dan akuakultur dalam sistem lingkaran tertutup yang menerapkan prinsip ekonomi sirkular. Limbah dari satu komponen menjadi *input* bagi komponen lain, misalnya kotoran ternak diolah menjadi pupuk organik, residu tanaman dimanfaatkan sebagai pakan, dan air limbah akuakultur digunakan untuk irigasi kaya nutrisi (Prasetyo et al., 2021). Pendekatan ini menekan pemborosan, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan memperkuat ketahanan pangan tanpa memperluas konversi lahan.

A. Indonesia dan Sektor Pertanian

Untuk memahami posisi Indonesia dalam tantangan di sektor pertanian, kita perlu melihat konteks regional dan tahapan perkembangan pertanian secara umum. Perkembangan sektor pertanian membawa banyak manfaat bagi sebuah negara, maupun wilayah. Kondisi geografis Asia Tenggara yang memiliki keanekaragaman melimpah merupakan lokasi yang sangat strategis untuk pengembangan sektor pertanian (Tacconi et al., 2023). Namun, dalam prosesnya, perkembangan sektor pertanian suatu negara bergantung pada kondisi masyarakat, mekanisme pasar, kemajuan teknologi, informasi, dan komunikasi,

serta perkembangan sosial ekonomi masyarakatnya. Dengan demikian, kombinasi antara elemen lingkungan dan elemen manusia berperan penting dalam proses perkembangan sektor pertanian. Secara umum, terdapat tiga tahapan perkembangan pertanian di dunia sebagai berikut.

1. Tahap pertama, atau masih disebut sebagai pertanian tradisional yang memiliki produktivitas yang rendah.
2. Tahap kedua, atau komersialisasi hasil pertanian yang dicirikan dengan produktivitas yang mulai meningkat, namun optimalisasi teknologi dan modal masih rendah.
3. Tahap ketiga, yang menunjukkan bahwa produk pertanian dapat melayani kebutuhan pasar yang juga diikuti dengan produktivitas, penggunaan modal, serta teknologi yang optimal dan efisien.

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau yang membentang di Samudra Hindia dan Pasifik di wilayah Asia Tenggara. Kepulauan yang ada di Indonesia membentang lebih dari 1,9 juta km² dengan garis pantainya mencapai 54.000 km, menjadikan Indonesia sebagai negara dengan garis pantai terpanjang kedua setelah Kanada. Indonesia memiliki pegunungan yang membentang di masing-masing pulau, baik gunung berapi aktif maupun gunung nonaktif (FAO, 2024).

Sebagai negara dengan iklim tropis dan memiliki keunggulan berupa keanekaragaman hayati yang kaya dan tanah yang subur, Indonesia dianggap sebagai negara agraris di mana pertanian telah lama menjadi tulang punggung perekonomian dan menjadi salah satu pilar utama ekonomi negara, berkontribusi secara signifikan terhadap lapangan kerja dan Produk Domestik Bruto (PDB). Lahan pertanian di Indonesia tercatat memiliki perubahan yang dinamis, di mana secara kumulatif sejak tahun 2015–2019 terjadi penurunan sekitar 2% (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2021). Meskipun demikian, sektor pertanian tidak pernah kehilangan perannya sebagai sumber lapangan pekerjaan negara. Hampir separuh penduduk Indonesia bekerja—secara langsung atau tidak langsung—di sektor pertanian, baik sebagai petani kecil maupun petani buruh di perkebunan industri.

Namun, keberhasilan dan keberlanjutan sektor pertanian terlepas dari elemen sumber daya manusia, perkembangan ini dipengaruhi oleh iklim dan kondisi geografis yang unik dari Indonesia. Menurut Maat (2016), setidaknya terdapat dua faktor utama yang mendukung sektor pertanian Indonesia, sebagai berikut.

1. Iklim Muson

Iklim muson ini pada dasarnya terdiri dari dua fase, yaitu musim hujan yang umumnya terjadi antara bulan Oktober–April dan musim kemarau yang berlangsung dari bulan Mei–September. Musim hujan terjadi karena adanya angin muson Asia-Australia. Angin ini merupakan angin hangat dengan kelembapan tinggi dari Samudra Hindia yang membawa curah hujan signifikan ke Indonesia. Sebaliknya, selama musim kemarau, angin yang lebih dingin dari gurun Australia menghasilkan kondisi yang lebih kering. Pola musim yang berbeda ini sangat penting bagi pertanian Indonesia karena waktu dan intensitas curah hujan sangat berpengaruh pada penanaman, pertumbuhan, dan panen tanaman. Selain itu, didukung dengan suhu rata-rata di Indonesia yang beriklim tropis adalah 26,8°C–27°C (BMKG, 2024). Hal ini sangat berpotensi untuk bisa mengarah pada kemajuan sektor pertanian di Indonesia karena temperatur optimal untuk perkembangan pertumbuhan tanaman berkisar pada suhu 15°C–20°C (Li et al., 2019) dan 25°C–31°C (Al-Rajab, 2021).

Pada musim hujan dengan curah hujan yang melimpah (dengan intensitas 1.700–6.000 mm) menciptakan kondisi yang ideal untuk menanam tanaman pokok di Indonesia, yaitu padi, yakni tanaman yang menjadi bagian penting dari ekonomi pertanian negara ini. Tanaman padi model persawahan membutuhkan lahan yang tergenang air untuk pertumbuhan yang optimal dan akan tumbuh subur selama periode kondisi air berlimpah. Petani di sebagian besar wilayah pedesaan dengan akses menuju sistem irigasi buatan yang masih sangat terbatas mengandalkan curah hujan untuk mengairi sawah. Berbeda dengan musim kemarau yang ditandai dengan berkurangnya

curah hujan menghadirkan tantangan tersendiri bagi pertanian Indonesia. Daerah yang tidak memiliki akses terhadap sistem irigasi yang tepat, kelangkaan air dapat membatasi produksi tanaman, terutama untuk tanaman yang membutuhkan banyak air seperti padi. Selama periode ini, banyak petani beradaptasi dengan menanam tanaman tahan kekeringan, seperti kacang tanah, ubi jalar, dan tembakau yang membutuhkan lebih sedikit air dan dapat menoleransi kondisi yang lebih kering.

Untuk mengatasi musim kemarau, beberapa daerah di Indonesia telah mengembangkan sistem pertanian bertingkat (Harahap et al., 2023) terutama di daerah yang memiliki wilayah berbukit atau bergunung-gunung, seperti Bali (Bokings et al., 2013) dan Jawa Barat (Nada, 2023). Terasering tidak hanya mengonservasi tanah dan air, tetapi juga memungkinkan petani untuk membudidayakan tanaman di lereng yang tidak cocok untuk pertanian, dengan mengatur aliran air melalui terasering yang dibangun dengan penuh perhitungan, petani dapat memanfaatkan curah hujan yang terbatas dan menyimpan air untuk dapat digunakan pada saat musim kemarau.

2. Geologi dan Ketinggian Lanskap

Adanya 17.000 pulau di Indonesia dengan lima pulau utama (Jawa, Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua) serta ribuan pulau-pulau kecil menjadikan sifat kepulauan negara ini memiliki implikasi yang besar bagi pertanian karena menciptakan zona agroekologi yang sangat beragam dengan iklim, jenis tanah, dan topografi yang unik. Topografi Indonesia yang bervariasi, yang berkisar dari dataran pesisir hingga pegunungan, sangat memengaruhi praktik pertanian. Sebagai contohnya, di daerah pesisir dataran rendah, sawah dan tanaman perkebunan mendominasi, sementara itu di dataran tinggi, petani menanam teh, kopi, dan sayuran di ladang bertingkat. Daerah pegunungan, terutama di Jawa Barat, Bali, dan Sumatra, secara tradisional merupakan pusat pertanian padi dengan sistem bertingkat (terasering), sebuah praktik yang telah diwariskan dari generasi

ke generasi dan tetap menjadi ciri utama lanskap pertanian Indonesia.

Pulau-pulau di Indonesia terletak di tepi lempeng tektonik yang berbeda, menghasilkan daerah pegunungan yang luas dengan jumlah gunung berapi (aktif) yang tinggi (Adri et al., 2021). Aktivitas gunung berapi juga membentuk sebagian besar topografi Indonesia, dan tanah vulkanik yang ditemukan di daerah-daerah, seperti Jawa, Bali, dan Sumatra termasuk yang paling subur di dunia. Tanah-tanah ini, yang kaya akan nutrisi seperti kalium, fosfor, dan nitrogen mendukung pertanian intensif dan hasil panen yang tinggi, terutama untuk padi, sayuran, dan buah-buahan.

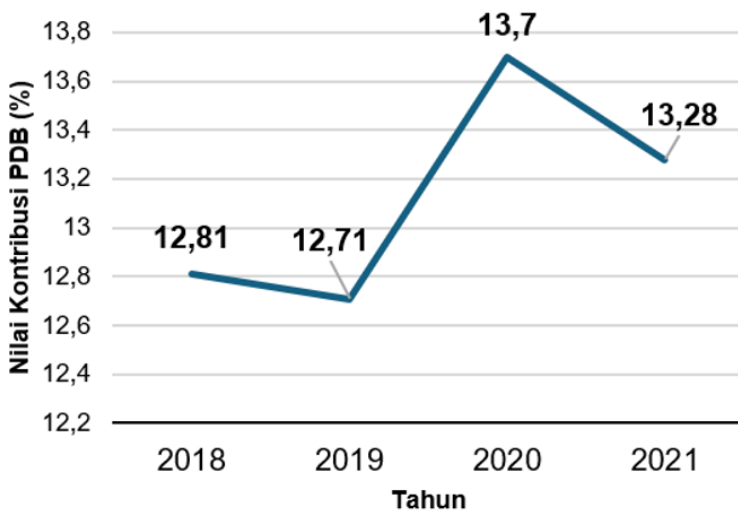
Tanah-tanah di Indonesia sangat bervariasi dalam hal kesuburan, tergantung pada faktor-faktor, seperti lokasi, ketinggian, dan geologi yang mendasarinya. Tanah vulkanik (andisol) termasuk yang paling subur, mendukung tanaman berproduksi tinggi, seperti padi, jagung, dan kopi. Tanah ini banyak ditemukan di Pulau Jawa dan Bali, di mana gunung berapi yang masih aktif telah memperkaya tanah dengan unsur hara yang penting dari waktu ke waktu.

Sektor pertanian Indonesia terkait erat dengan iklim muson dan geografi yang beragam. Dua musim yang berbeda di negara ini, yang dibentuk oleh angin muson, menentukan siklus tanam dan panen. Sementara itu, topografi dan jenis tanahnya yang beragam memungkinkan berbagai jenis tanaman untuk dibudidayakan. Dari tanah vulkanik yang subur di Jawa hingga lahan gambut di Sumatra dan Kalimantan, keragaman geografis Indonesia bagaikan dua mata pisau. Di satu sisi, memberikan dampak positif. Di sisi lain, memiliki tantangan yang perlu diselesaikan bersama. Manfaat dari adanya iklim muson adalah membawa curah hujan yang diperlukan untuk padi dan tanaman lainnya, tetapi keberadaan iklim ini juga menimbulkan risiko, seperti banjir dan erosi yang harus ditanggulangi oleh para petani melalui praktik inovatif, seperti terasering dan pengelolaan air.

Geografis Indonesia yang beragam mendukung tradisi pertanian yang kaya, tetapi membutuhkan pengelolaan lahan yang hati-hati untuk mencegah degradasi tanah dan deforestasi. Keberhasilan pertanian

Indonesia membutuhkan adanya proses adaptasi yang tepat terhadap kondisi iklim dan geografisnya yang unik. Dengan mengombinasikan pengetahuan tradisional dan teknologi, sektor pertanian di Indonesia terus berkembang meskipun terdapat beberapa tantangan yang harus dihadapi. Tujuannya adalah untuk memastikan keberlanjutan dan ketahanan sektor pertanian Indonesia hingga masa yang akan datang.

Sektor pertanian dapat dikatakan sebagai sektor penting dan penunjang perekonomian bagi Indonesia. Data BPS (2022) menunjukkan bahwa sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan telah menyumbang sekitar 13,28 % Produk Domestik Bruto (PDB) untuk Indonesia, dan apabila ditarik dari kontribusi PDB dari tahun 2018 hingga tahun 2021, nilai yang ditunjukkan adalah nilai positif (tren positif). Secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini.



Keterangan: Nilai kontribusi sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan terhadap PDB Indonesia pada tahun 2018–2021 yang memiliki tren positif (meningkat).

Sumber: BPS (2022)

Gambar 1.1 Nilai Kontribusi Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan terhadap PDB Tahun 2018–2021

Berdasarkan pada Gambar 1.1, antara tahun 2018 hingga 2021, sektor pertanian Indonesia tetap menjadi kontributor yang signifikan bagi perekonomian nasional. Tren positif terus ditunjukkan oleh sektor ini, meskipun ada penurunan pada tahun-tahun tertentu, penurunan yang terjadi tidak signifikan. Jika dibandingkan dengan sektor lainnya di Indonesia, nilai kontribusi ini menduduki peringkat kedua setelah sektor industri pengolahan, dan kontribusi terbesar dari sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan adalah subsektor pertanian yang menyumbang sebesar 9,82% PDB untuk Indonesia. Nilai ini tidak terlepas dari peran petani kecil yang mendominasi sektor pertanian di Indonesia (mencapai 93%). Selain itu, sektor ini merupakan sumber lapangan kerja terbesar kedua, khususnya di pedesaan, dengan sekitar 33% tenaga kerja Indonesia bekerja di sektor pertanian. Hal ini sesuai dengan Afriansyah et al. (2022), yang menyatakan bahwa sektor pertanian merupakan salah satu sektor penting di negara berkembang karena sebagian besar penduduk di negara berkembang cenderung didominasi oleh masyarakat tradisional yang kegiatan ekonomi utamanya bekerja di sektor pertanian.

Pertanian di Indonesia dapat dikatakan sebagai sistem pertanian yang terdiversifikasi, dengan komoditas yang bervariasi (karena dua elemen, yaitu iklim muson dan kondisi geografis) di mana terdapat komoditas padi, kelapa sawit, karet, kakao, kopi, dan teh sebagai tanaman utama di Indonesia yang telah memiliki wilayah optimalnya masing-masing. Namun, pandemi *Corona Virus Disease-2019* (Covid-19) yang dimulai pada tahun 2020 telah menimbulkan tantangan baru bagi pertanian di Indonesia. Adanya pembatasan sosial berskala besar (PSBB) dan karantina wilayah, kacaunya sistem rantai pasok, dan pembatasan pergerakan memengaruhi ketersediaan tenaga kerja pertanian dan akses pasar. Namun demikian, sektor pertanian menunjukkan ketahanan selama pandemi, yang mengacu kepada pertumbuhan positif selama delapan kuartal dari tahun 2020 dan 2021, karena produksi dan distribusi pangan tetap diprioritaskan sehingga mampu menjadi penyangga selama penurunan ekonomi (FAO, 2023).

Terlepas dari kondisi COVID-19 yang menekan sektor pertanian, Indonesia masih memiliki salah satu komoditas unggulan berupa kelapa sawit yang merupakan tanaman yang sangat penting (Indonesia merupakan produsen dan pengeksport kelapa sawit terbesar di dunia). Produksi beras terus menjadi andalan sektor pertanian yang menjadi makanan pokok bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Program swasembada beras dan investasi pemerintah dalam infrastruktur irigasi membantu menstabilkan produksi beras dan menjaga kontribusi pertanian terhadap PDB relatif stabil.

Selain pertanian, sektor lain, seperti kehutanan dan perikanan menyumbang PDB yang stabil terhadap Indonesia. Sektor kehutanan merupakan komponen penting dari ekonomi sumber daya alam Indonesia, yang memberikan kontribusi signifikan terhadap PDB negara. Hal ini karena Indonesia memiliki kawasan hutan tropis terluas ketiga di dunia, dengan luas lebih dari 120 juta hektare, dan merupakan pengeksport utama hasil hutan, termasuk kayu, kayu lapis, bubur kertas, dan kertas (Purba et al., 2014).

Dengan kondisi geografis Indonesia yang merupakan negara kepulauan, Indonesia memiliki salah satu sumber daya laut yang paling melimpah di dunia. Sektor perikanan, yang mencakup perikanan tangkap dan budidaya, merupakan kontributor yang signifikan terhadap perekonomian Indonesia (Rahim et al., 2024), khususnya di wilayah pesisir dan pedesaan yang mana mata pencaharian sangat bergantung pada kegiatan penangkapan ikan. Hasil laut yang meliputi tuna, udang, dan makarel, merupakan salah satu subsektor terpenting karena Indonesia merupakan salah satu produsen tuna terbesar di dunia yang memasok pasar domestik dan pasar internasional, terutama di Uni Eropa, Amerika Serikat, dan Jepang (da Silva et al., 2023).

Kontribusi sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan terhadap PDB Indonesia dari tahun 2018 hingga 2021 menyoroti ketahanan dan pentingnya sektor-sektor ini bagi perekonomian negara. Meskipun menghadapi tantangan, seperti fluktuasi pasar, kerusakan lingkungan, dan pandemi COVID-19, sektor ini terus menyediakan mata pencaharian bagi jutaan orang Indonesia dan menghasilkan pendapatan

ekspor yang penting. Masa depan dari sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan Indonesia akan bergantung pada kemampuan negara untuk mengadopsi praktik berkelanjutan, merangkul inovasi teknologi, dan menanggapi tantangan yang ditimbulkan oleh perubahan iklim.

Dengan investasi berkelanjutan dalam pembangunan berkelanjutan dan tata kelola yang efektif, sektor pertanian berpotensi untuk mendorong pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan memastikan ketahanan pangan, sekaligus menjaga lingkungan alam Indonesia untuk generasi mendatang. Selain kontribusi langsungnya, sektor pertanian juga memiliki kontribusi tidak langsung dari *multiplier effect*, yaitu keterkaitan *input-output* antara industri, konsumsi, dan investasi. Dampak penggandanya relatif besar sehingga sektor pertanian sebagai sektor utama layak untuk dikembangkan bagi perekonomian nasional.

3. Sektor Pertanian Masa Kolonial versus Saat ini

a. Bagaimana Perkembangan Sektor Pertanian pada Masa Kolonial?

Kedatangan Belanda ke Indonesia pada tahun 1596 dipicu karena Indonesia merupakan salah satu negara penghasil rempah-rempah di dunia yang mengakibatkan adanya perubahan arah sistem pertanian di Indonesia. Pada mulanya, sistem pertanian masyarakat Indonesia yang masih tradisional dengan komoditas utama pada masa itu adalah makanan pokok, seperti padi, buah, sayur, dan lain-lain (Salsabilah, 2025). Keadaan mulai berubah saat Belanda membentuk *Verenigde Oost-Indische Compagnie* (VOC) pada tahun 1602 yang kemudian tidak hanya menguasai perdagangan, tetapi juga berpengaruh besar terhadap politik di Indonesia. Dengan adanya VOC ini, pemerintah kolonial Hindia Belanda menguasai jalur perdagangan Indonesia. Belanda mengelola produk pertanian Indonesia yang laris manis di pasar internasional. Lahan dan tenaga pertanian lebih banyak digunakan untuk menghasilkan tanaman ekspor, seperti gula, pala, kopi, teh, dan karet. Tanaman pangan yang diproduksi untuk memenuhi kebutuhan hidup petani kurang mendapat perhatian. Perkebunan besar dengan tanamannya tumbuh dengan cepat. Dari

tanaman ekspor ini, perusahaan perkebunan Barat mendapat untung besar (Fasseur, 2008).

Komoditas pertanian yang beragam di Indonesia perlahan-lahan berubah menjadi pertanian monokultur, karena untuk memenuhi kebutuhan kas dari Pemerintah Hindia Belanda yang mana mayoritas digunakan untuk biaya operasional dan membayar utang pemerintah. Pada zaman kolonial, diperkenalkan adanya metode *cultuurstelsel* yang merupakan bentuk dari sistem tanam paksa yang kemudian banyak mendatangkan dampak negatif dan beberapa peluang positif bagi masyarakat Indonesia (Sondrika, 2019; Purba et al., 2024). Hal ini karena saat kebijakan ini dibuat, masyarakat Indonesia diwajibkan untuk menanam 20% lahan pertaniannya dengan tanaman ekspor yang bebas pajak (Purba et al., 2024). Namun, pajak yang tidak dibayarkan menggunakan uang tersebut digantikan dengan tenaga dari petani, maksudnya adalah penduduk pribumi wajib bekerja di perkebunan Pemerintah Hindia Belanda sebagai pajak atas 80% lahan yang tidak ditanami tanaman ekspor.

Ada beberapa dampak positif yang bisa dirasakan generasi saat ini karena adanya sistem *cultuurstelsel*, yaitu mulai dikenalnya tanaman-tanaman eksotik yang berasal dari luar Indonesia, keberadaan infrastruktur pertanian yang baik, dan rakyat Indonesia menjadi lebih mengenal sistem atau teknik perawatan dan manajemen pertanian yang lebih baik. Perkembangan sistem dan infrastruktur di zaman kolonial bertujuan untuk menyejahterakan masyarakat Belanda. Akan tetapi, mayoritas rakyat pribumi tidak mendapatkan keuntungan yang diharapkan, apalagi dengan sistem tersebut adanya pergeseran dan paksaan pemerintah untuk menanam tanaman ekspor dibanding tanaman padi yang merupakan tanaman utama saat itu. Akibatnya, sistem perkebunan yang merupakan bentuk dari pertanian modern menjadi lebih berkembang pesat dan menguntungkan, sementara pertanian tradisional pribumi (khususnya pertanian padi sawah irigasi) tidak mengalami perkembangan yang signifikan, stagnan atau involusi. Untuk memodernisasi pertanian Indonesia, Pemerintah Hindia Belanda mengembangkan lembaga penelitian, pendidikan, dan

penyuluhan pertanian, termasuk jawatan yang mengelola pertanian (Dell & Olken, 2018).

Keadaan mulai berubah pada saat masa pendudukan Jepang (1942–1945) banyak perkebunan yang terlantar karena ditinggalkan atau dialihfungsikan (Saring et al., 2017). Ada pula yang terlantar karena Jepang hanya memberi perhatian terhadap pertanian yang dapat secara langsung mendukung politik perang Jepang. Misalnya, banyak lahan perkebunan diubah menjadi perkebunan pohon jarak, termasuk lahan para petani Indonesia (Tirta, 2025; Riady et al., 2022).

b. Perkembangan Sektor Pertanian Indonesia saat Ini

Selain berkontribusi terhadap ketahanan pangan nasional dan menyediakan sumber pendapatan masyarakat luas, sektor pertanian memainkan peran penting dalam perekonomian Indonesia. Dalam beberapa tahun terakhir, sektor ini telah menghadapi banyak tantangan, seperti perubahan iklim, kelangkaan lahan, praktik pertanian yang sudah ketinggalan zaman, dan infrastruktur yang tidak memadai, hingga adanya pandemi COVID-19 pada tahun 2019, yang juga berdampak pada fluktuasi (maju dan mundur) perkembangan sektor pertanian Indonesia. Meskipun saat ini Indonesia telah mencapai swasembada beras dan beberapa komoditas pertanian lainnya, masih ada tantangan yang harus dihadapi karena menghambat sektor pertanian untuk mencapai potensi maksimalnya. Keterbatasan akses terhadap teknologi dan informasi, kurangnya integrasi pasar, produksi yang rendah, dan kerentanan terhadap perubahan iklim masih menjadi hambatan yang signifikan. Salah satu hal yang dapat dilakukan oleh pemerintah Indonesia untuk memitigasi penurunan produktivitas sektor pertanian Indonesia adalah dengan membuat regulasi yang khusus mengatur mengenai hal tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan pemerintah Indonesia harus mulai merancang regulasi yang sifatnya dari hulu hingga hilir sampai regulasi yang sifatnya spesifik.

Regulasi yang dibuat oleh pemerintah Indonesia sangat berkaitan dengan kelangsungan hidup dari sektor pertanian. Alasannya karena dengan adanya regulasi ini akan memberikan standar untuk investasi,

operasi pasar, penggunaan lahan, dan praktik pertanian yang baik dan sejalan dengan arah pembangunan Indonesia. Peraturan yang kuat dapat memecahkan masalah, seperti hubungan pasar, penelitian dan pengembangan, akses kredit, kepemilikan tanah, serta pembangunan infrastruktur. Meskipun demikian, masalah pertanian dapat diperburuk karena peraturan yang tidak memadai atau tidak konsisten. Korelasi antara kondisi sektor pertanian Indonesia dan peraturan pertanian sangat kompleks dan beragam. Sebuah penelitian oleh Achmad (2024) menemukan bahwa sengketa lahan dan penurunan investasi pertanian disebabkan oleh ketidaksesuaian antara peraturan penggunaan dan jaminan kepemilikan lahan. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Utomo et al. (2022) menekankan efek buruk dari peraturan pertanian yang kuno terhadap keberlanjutan dan produktivitas.

Sebaliknya, regulasi yang efektif telah menunjukkan hasil yang menguntungkan untuk perkembangan sektor pertanian. Kerangka regulasi seputar sektor pertanian di Indonesia diatur oleh berbagai undang-undang, kebijakan, dan inisiatif. Peraturan ini bertujuan untuk mengatasi masalah utama, mempromosikan praktik berkelanjutan, dan mendukung pertumbuhan dan perkembangan sektor ini. Berikut beberapa regulasi penting terkait sektor pertanian di Indonesia.

1) Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2013 tentang Perlindungan dan Pemberdayaan Petani

Undang-Undang Pertanian pada tahun 2013 memberikan kerangka hukum bagi pembangunan pertanian di Indonesia. Undang-Undang ini bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan petani, meningkatkan produktivitas, mempromosikan praktik berkelanjutan, dan memastikan ketahanan pangan. Undang-undang tersebut mencakup berbagai aspek, termasuk perencanaan penggunaan lahan, teknik pertanian, penelitian dan pengembangan pertanian, pemasaran, dan perlindungan petani, pemberdayaan petani, serta peran serta masyarakat, yang diselenggarakan berdasarkan asas kedaulatan, kemandirian, kebermanfaatan, kebersamaan, keterpaduan, keterbukaan, efisiensi berkeadilan, dan berkelanjutan.

Bentuk kebijakan yang dapat diberikan untuk melindungi kepentingan petani dalam Undang-Undang ini antara lain adalah: (1) pengaturan terkait impor komoditas pertanian sesuai dengan musim panen dan/atau kebutuhan konsumsi di dalam negeri, (2) jaminan penyediaan sarana produksi pertanian yang tepat waktu, tepat mutu, dan harga terjangkau bagi para petani, serta subsidi sarana produksi, (3) penetapan tarif bea masuk untuk komoditas pertanian, serta adanya penetapan tempat pemasukan komoditas pertanian dari luar negeri dalam kawasan pabean, (4) adanya penetapan kawasan usaha tani berdasarkan kondisi dan potensi sumber daya alam, sumber daya manusia, dan sumber daya buatan, (5) fasilitasi asuransi pertanian untuk melindungi petani dari kerugian gagal panen akibat bencana alam, wabah penyakit hewan menular, perubahan iklim; dan/atau jenis risiko lain yang ditetapkan oleh menteri, serta (6) bantuan ganti rugi gagal panen akibat kejadian luar biasa sesuai dengan kemampuan keuangan negara.

Upaya pemberdayaan petani juga memiliki peran yang penting untuk mencapai kesejahteraan petani yang lebih baik. Pemberdayaan dilakukan untuk menjadi katalisator bagi pola pikir petani, meningkatkan usaha tani, dan menumbuhkan serta memperkuat kelembagaan petani agar mampu mandiri dan berdaya saing tinggi dalam berusaha tani. Beberapa kegiatan yang mampu menstimulasi petani agar lebih berdaya, antara lain berupa pendidikan dan pelatihan, penyuluhan dan pendampingan, pengembangan sistem dan sarana pemasaran hasil pertanian; pengutamaan hasil pertanian dalam negeri untuk memenuhi kebutuhan pangan nasional; konsolidasi dan jaminan luasan lahan pertanian; penyediaan fasilitas pembiayaan dan permodalan; kemudahan akses ilmu pengetahuan, teknologi, dan informasi; dan penguatan kelembagaan petani.

2) Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Ketahanan Pangan

Undang-Undang Ketahanan Pangan Tahun 2012 berfokus untuk memastikan ketahanan dan stabilitas pangan nasional. Undang-undang ini menekankan kebutuhan untuk meningkatkan produktivitas pertanian, meningkatkan akses petani ke sumber daya, mempromosikan sistem distribusi yang efisien, dan mengelola risiko terkait ketersediaan dan keterjangkauan pangan. Kebijakan tentang ketahanan pangan mengamanatkan bahwa penyelenggaraan pangan dilakukan untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia yang memberikan manfaat secara adil, merata, dan berkelanjutan berdasarkan kedaulatan pangan, kemandirian pangan, dan ketahanan pangan nasional. Upaya untuk mewujudkan kedaulatan, kemandirian, dan ketahanan pangan merupakan hal mendasar yang sangat besar arti dan manfaatnya untuk mendukung pelaksanaan kebijakan terkait penyelenggaraan pangan di Indonesia. Selain itu, juga untuk mempermudah atau meningkatkan aksesibilitas pangan bagi masyarakat, terutama masyarakat rawan pangan dan gizi, meningkatkan nilai tambah dan daya saing komoditas pangan di pasar dalam negeri maupun di luar negeri, meningkatkan pengetahuan dan kesadaran masyarakat tentang pangan yang aman, bermutu, dan bergizi bagi konsumsi masyarakat. Tujuan penting lainnya juga meningkatkan kesejahteraan bagi petani, nelayan, pembudidaya ikan, dan pelaku usaha pangan serta melindungi dan mengembangkan kekayaan sumber daya pangan nasional.

Selain itu, salah satu fokus dari Undang-Undang Ketahanan Pangan saat ini adalah urgensi terbentuknya lembaga yang mempunyai otoritas kuat untuk mengoordinasikan, mengatur, dan mengarahkan lintas sektor dalam berbagai kebijakan dan program terkait pangan. Dalam Undang-Undang Pangan Nomor 18 Tahun 2012, pada Pasal 126 disebutkan, *“Dalam hal mewujudkan kedaulatan pangan, kemandirian pangan dan ketahanan pangan nasional, dibentuk lembaga pemerintah yang*

menangani bidang pangan yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Presiden”. Kemudian pada Pasal 127 disebutkan, “Lembaga pemerintah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 126 mempunyai tugas melaksanakan tugas pemerintahan di bidang pangan”.

Dengan memperhatikan Undang-Undang ini maka lembaga merupakan posisi yang sangat strategis sehingga harapannya keberadaan badan otoritas pangan bisa terhindar dari benturan kepentingan atau adanya potensi egosektoral terkait. Dengan posisi yang tinggi, harapannya adalah badan otoritas pangan bisa lebih independen, mengingat badan otoritas pangan tersebut berfungsi sebagai pembuat kebijakan pangan sekaligus operator pangan. Lembaga tersebut akan bertugas melaksanakan pengadaan, produksi, penyimpanan, hingga distribusi pangan nasional. Hal ini menguatkan peran pemerintah pusat dan daerah untuk bertanggung jawab agar penyelenggaraan pangan nasional dapat dilaksanakan dengan lebih terarah, berhasil guna, dan berdaya guna. Dengan demikian, pelaksanaan manajemennya dilakukan dengan memberdayakan seluruh potensi pemangku kepentingan. Harapannya adalah terjadi sinergi untuk menghasilkan penyelenggaraan pangan secara efektif dan efisien agar mampu menghadapi persoalan serta tantangan masa kini juga masa depan.

Permasalahan dan tantangan pangan dari hari ke hari dirasakan semakin majemuk. Dalam arti, senantiasa mengalami perubahan dari waktu ke waktu dan dipengaruhi oleh hal-hal yang sifatnya spesifik lokal, maupun global. Perubahan serta adanya perbedaan, seperti kondisi nyata masyarakat, dinamika kependudukan, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, revolusi informasi, telekomunikasi, transportasi, demokratisasi, desentralisasi, serta globalisasi menjadikan adanya determinan pangan yang menarik untuk dikaji sebagai landasan untuk melakukan antisipasi krisis pangan nasional dan global.

3) Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Hukum Lingkungan membahas perlindungan dan konservasi lingkungan. Ini mencakup ketentuan yang berkaitan dengan penggunaan lahan berkelanjutan, konservasi keanekaragaman hayati, pengelolaan sumber daya air, dan pengendalian polusi. Peraturan ini berimplikasi pada sektor pertanian, khususnya dalam hal mengelola dampak lingkungan dari praktik pertanian dan mengatasi masalah seperti penggundulan hutan dan polusi air.

Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup merupakan upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi: perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum (Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 Pasal 1 ayat 2). Perencanaan yang dimaksud dalam Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tersebut adalah upaya pemerintah untuk menganalisis studi kelayakan dari kegiatan usaha tertentu yang akan didirikan. Artinya, ada upaya dari pemerintah dalam hal ini Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup (BPLH) untuk melakukan analisis terhadap dampak lingkungan hidup yang kemungkinan dapat ditimbulkan dari pendirian suatu kegiatan usaha ekonomi tertentu sebelum kegiatan usaha ekonomi tersebut didirikan. Tindakan perencanaan ini merupakan upaya preventif pemerintah dalam kerangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup sehingga kegiatan usaha yang didirikan oleh para pelaku ekonomi nantinya benar-benar berorientasi pada kemajuan pembangunan dan pemeliharaan lingkungan hidup atau dengan kata lain kegiatan usaha yang ada ramah pada lingkungan hidup.

Pemanfaatan yang dimaksud dalam Pasal 1 ayat 2 Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah kegiatan usaha ekonomi tertentu yang didirikan benar-benar mendukung percepatan pembangunan dan

memberikan asas manfaat terhadap lingkungan hidup yang ada. Hal ini berarti kegiatan ekonomi tertentu yang didirikan benar-benar mendukung percepatan pembangunan dan memberikan asas manfaat terhadap lingkungan hidup yang ada. Kegiatan usaha ekonomi tertentu yang ada dalam aktivitasnya tidak menimbulkan eksekusi pencemaran terhadap lingkungan hidup atau dengan kata lain dalam pengelolaan kegiatan usaha ekonomi tersebut ada upaya untuk melindungi kelestarian lingkungan hidup yang ada di sekitar lokasi pendirian kegiatan usaha ekonomi tertentu sebagai bagian dari asas pemanfaatan kegiatan usaha terhadap perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Pengendalian yang dimaksud dalam Pasal 1 ayat 2 Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah upaya pemerintah dalam hal ini Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup (BPLH) untuk melakukan tindakan pengawasan terhadap suatu aktivitas yang dilakukan oleh setiap orang, terutama pelaku-pelaku usaha yang menimbulkan dampak besar terhadap lingkungan. Dampak lingkungan hidup diartikan sebagai pengaruh perubahan pada lingkungan hidup yang diakibatkan oleh suatu usaha dan/atau kegiatan usaha ekonomi tertentu yang didirikan. Pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang dimaksud meliputi tindakan pengendalian pencemaran air, udara dan laut serta tindakan pengendalian terhadap kerusakan ekosistem (Widodo, 2023).

Pemeliharaan yang dimaksud dalam Pasal 1 ayat 2 UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah kegiatan usaha ekonomi tertentu yang didirikan untuk mendukung percepatan pembangunan. Selain itu harus memperhatikan pemeliharaan kualitas lingkungan hidup yang ada, atau dengan kata lain kegiatan usaha ekonomi tertentu yang dikelola harus ramah terhadap lingkungan hidup dengan mengedepankan unsur kearifan lokal dalam pengelolaan kegiatan usaha ekonomi tertentu tersebut.

Penegakan hukum yang dimaksud dalam Pasal 1 ayat 2 UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah upaya pemerintah dalam hal ini Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup (BPLH) untuk memberikan teguran baik secara lisan maupun tertulis kepada pelaku-pelaku kegiatan usaha ekonomi tertentu yang menjalankan aktivitas usahanya terindikasi melakukan pelanggaran atau tidak mematuhi batas toleransi analisis dampak lingkungan yang berlaku. Tindakan penegakan hukum ini bisa berujung pada penuntutan secara pidana bila kegiatan usaha ekonomi tertentu yang dikelola pelaku-pelaku usaha sudah terindikasi memberikan eksek negatif atau membahayakan keberadaan lingkungan hidup atau dengan kata lain di dalam aktivitas kegiatan usaha ekonomi tertentu tersebut sudah tidak ada unsur untuk melindungi lingkungan hidup yang ada di sekitar wilayah kegiatan usaha ekonomi tertentu tersebut didirikan. Oleh karena itu, upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup menjadi kewajiban bagi negara, pemerintah dan seluruh pemangku kepentingan dalam pelaksanaan pembangunan berkelanjutan agar lingkungan hidup dapat tetap menjadi sumber dan penunjang hidup bagi rakyat Indonesia serta makhluk hidup lain.

- 4) Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1960 tentang Peraturan Dasar Pokok-Pokok Agraria ditambah dengan Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1967 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Kehutanan Hukum Pertanahan dan Hukum Agraria menjadi landasan bagi penguasaan tanah dan peraturan-peraturan terkait pertanahan di Indonesia. Mereka menguraikan prinsip-prinsip kepemilikan tanah, hak guna tanah, pembebasan tanah, dan redistribusi tanah. Undang-undang ini berimplikasi pada sektor pertanian karena jaminan penguasaan lahan dan akses yang adil terhadap lahan sangat penting untuk pembangunan dan investasi pertanian.
- 5) Peraturan Khusus Terkait Sistem Pertanian
Selain peraturan yang menyeluruh, Indonesia memiliki peraturan khusus untuk berbagai tanaman. Misalnya, Undang-Undang

Nomor 22 Tahun 2019 tentang Sistem Budidaya Pertanian Berkelanjutan; Undang-Undang Nomor 39 Tahun 2014 tentang Perkebunan; Undang-Undang Nomor 12 Tahun 1992 tentang Sistem Budidaya Tanaman; Peraturan Menteri Pertanian RI Nomor 18 Tahun 2018 tentang Pedoman Pengembangan Kawasan Pertanian Berbasis Korporasi Petani; dan masih banyak lagi.

- 6) Peraturan lainnya yang Mendukung Adanya Inisiatif dan Program untuk Perkembangan Sektor Pertanian Indonesia
Pemerintah Indonesia telah melaksanakan beberapa inisiatif dan program untuk mendukung sektor pertanian. Sebagai contoh, Kebijakan Satu Peta yang bertujuan untuk mengintegrasikan data spasial dan menyediakan peta penggunaan lahan yang komprehensif dan akurat, mendukung pengelolaan lahan, dan menyelesaikan konflik lahan. Selain itu, Undang-Undang Desa (Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2014) sebagai landasan dalam memberdayakan masyarakat pedesaan untuk mengelola sumber daya mereka, termasuk lahan pertanian, dengan tujuan meningkatkan pembangunan ekonomi lokal dan meningkatkan kesejahteraan dari masyarakat pedesaan (baik yang berprofesi sebagai buruh, petani, nelayan, maupun unsur masyarakat pedesaan lainnya).

Adanya regulasi-regulasi tersebut mendorong sektor pertanian bagi perekonomian dan keberlanjutan lingkungan di Indonesia. Dalam konteks ekonomi negara, sektor ini memberikan kesempatan kerja bagi sebagian besar penduduk, terutama di daerah pedesaan dan juga berkontribusi pada Produk Domestik Bruto (PDB) negara serta memainkan peran penting dalam pengentasan kemiskinan dan pembangunan wilayah pedesaan. Selain itu, hal ini juga mendukung ketahanan pangan bagi Indonesia. Dengan diterapkannya regulasi ini, Indonesia saat ini telah mencapai kemajuan yang signifikan dalam mencapai swasembada tanaman pangan pokok, khususnya beras. Berbagai program dan inisiatif pemerintah telah dilaksanakan untuk mendukung petani, meningkatkan praktik pertanian, dan meningkatkan produktivitas pertanian. Lebih jauh, regulasi ini harapannya dapat

membawa Indonesia mencapai pertanian berkelanjutan untuk meningkatkan kelestarian lingkungan, melestarikan sumber daya alam, dan mengurangi dampak sektor ini terhadap perubahan iklim.

B. Arah Perkembangan Sektor Pertanian Indonesia

Perjalanan pembangunan pertanian Indonesia hingga saat ini masih belum dapat menunjukkan hasil yang maksimal jika dilihat dari tingkat kesejahteraan petani dan kontribusinya pada pendapatan nasional. Pembangunan pertanian di Indonesia dianggap penting dari keseluruhan pembangunan nasional. Ada beberapa hal yang mendasari peran penting pembangunan pertanian Indonesia, yaitu potensi sumber daya alam yang besar dan beragam, pangsa terhadap pendapatan nasional yang cukup besar, besarnya pangsa terhadap ekspor nasional, besarnya penduduk Indonesia yang menggantungkan hidupnya pada sektor ini, serta perannya dalam penyediaan pangan masyarakat dan menjadi basis pertumbuhan di pedesaan. Potensi pertanian Indonesia yang besar, namun pada kenyataannya sampai saat ini, sebagian besar dari petani kita masih banyak yang termasuk golongan miskin mengindikasikan bahwa pemerintah pada masa lalu tidak hanya kurang memberdayakan petani, tetapi juga terhadap sektor pertanian secara keseluruhan.

Pembangunan pertanian pada masa lalu mempunyai beberapa kelemahan, yakni hanya terfokus pada usaha tani, lemahnya dukungan kebijakan makro, serta pendekatannya yang sentralistik (Apriyantono, 2006). Akibatnya, usaha pertanian di Indonesia sampai saat ini masih banyak didominasi oleh usaha dengan

1. skala kecil;
2. modal yang terbatas;
3. penggunaan teknologi yang masih sederhana;
4. sangat dipengaruhi oleh musim;
5. wilayah pasarnya lokal;

6. umumnya berusaha dengan tenaga kerja keluarga sehingga menyebabkan terjadinya involusi pertanian (pengangguran tersembunyi);
7. akses terhadap kredit, teknologi, dan pasar sangat rendah;
8. pasar komoditas pertanian yang sifatnya mono/oligopsoni yang dikuasai oleh pedagang-pedagang besar sehingga terjadi eksploitasi harga yang merugikan petani.

Selain itu, masih ditambah lagi dengan permasalahan yang menghambat pembangunan pertanian di Indonesia, seperti pembaruan agraria (konversi lahan pertanian menjadi lahan nonpertanian) yang semakin tidak terkendali, kurangnya penyediaan benih bermutu bagi petani, kelangkaan pupuk pada saat musim tanam datang, swasembada beras yang tidak meningkatkan kesejahteraan petani, dan kasus-kasus pelanggaran hak asasi petani, menuntut pemerintah untuk dapat lebih serius dalam upaya penyelesaian masalah pertanian di Indonesia demi terwujudnya pembangunan pertanian Indonesia yang lebih maju dan tercapainya kesejahteraan masyarakat Indonesia.

Pembangunan pertanian pada masa yang akan datang tidak hanya dihadapkan untuk memecahkan masalah-masalah yang ada, tetapi juga dihadapkan pada tantangan untuk menghadapi perubahan tatanan politik di Indonesia yang mengarah pada era demokratisasi, yakni tuntutan otonomi daerah dan pemberdayaan petani. Di samping itu, dihadapkan pula pada tantangan untuk mengantisipasi perubahan tatanan dunia yang mengarah pada globalisasi dunia. Oleh karena itu, pembangunan pertanian di Indonesia tidak hanya dituntut untuk menghasilkan produk-produk pertanian yang berdaya saing tinggi, tetapi juga mampu mengembangkan pertumbuhan daerah dan pemberdayaan masyarakat. Berbagai tantangan tersebut menjadi kerja keras bagi semua pihak apabila menginginkan pertanian kita dapat menjadi pendorong peningkatan kesejahteraan masyarakat dan dapat menjadi motor penggerak pembangunan bangsa.

Pada saat ini, di Indonesia memiliki berbagai sistem pertanian yang berbeda, baik efisiensi teknologinya maupun tanaman yang diusahakannya, yaitu sistem ladang, sistem tegal pekarangan, sistem

sawah, dan sistem perkebunan. Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian (2023), luas lahan pertanian Indonesia mencapai 36.817.086 ha yang terdiri dari lahan untuk sawah, tegal atau kebun, ladang, dan lahan sementara yang tidak diusahakan. Pada tahun 2019–2022, kontribusi sektor pertanian terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar 13,02% (Pusat Data dan Sistem Informasi Kementerian Pertanian, 2023). Selain itu, sektor pertanian Indonesia secara internasional memberikan dampak signifikan dalam produksi dan ekspor beras, minyak sawit, kopi, karet, kakao, dan rempah-rempah (pala, kayu manis, dan cengkeh) (Azahari & Panjaitan, 2021). Data-data tersebut menunjukkan bahwa sektor pertanian menjadi salah satu sumber penting pendapatan dan juga penyumbang perkembangan perekonomian Indonesia.

Saat ini, Indonesia mulai menerapkan model *Integrated Farming System* atau Pertanian Terpadu tanpa Limbah dengan menghubungkan sistem pertanian dengan sistem lainnya yang saling mendukung. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan perekonomian masyarakat dengan sistem yang terpadu dan sinergis serta mengurangi dampak-dampak negatif yang ditimbulkan dari adanya sistem pertanian yang terus berkembang. Model pertanian lain yang saat ini mulai banyak dipikirkan dan mulai dikembangkan adalah ekonomi sirkular di bidang pertanian. Model ekonomi sirkular pertanian adalah sebuah sistem yang berupaya menjadikan limbah pertanian menjadi *input* pada sistem usaha tani sehingga menjadikan limbah tersebut mempunyai nilai guna dan ekonomis serta berupaya menggantikan salah satu *input* usaha tani agar mengurangi biaya produksi usaha tani. Dua model ini merupakan penggabungan yang ideal untuk meningkatkan produktivitas usaha tani dengan mengurangi limbah dan mengubahnya menjadi *input* baru dalam sistem usaha tani.

C. Masalah dan Tantangan Pertanian Indoneasia

Saat ini, pemerintah dan masyarakat Indonesia sangat memperhatikan kemajuan sektor pertanian. Alasannya, karena sektor ini memberikan banyak manfaat untuk bisa meningkatkan ketahanan pangan negara, mampu memberikan dampak ekonomi berupa peningkatan pendapatan kepada masyarakat, dan menciptakan lapangan pekerjaan. Namun demikian, pada masa sekarang, sektor pertanian Indonesia masih menghadapi beberapa masalah yang penting untuk diperhatikan, seperti kurangnya investasi, rendahnya produktivitas, dan tingkat ketergantungan pada alam yang cukup tinggi. Hal ini membuat lahan-lahan pertanian di Indonesia banyak yang menjadi kurang produktif untuk menghasilkan produk pertanian yang berkualitas.

Dalam melaksanakan pembangunan pertanian saat ini, persoalan mendasar yang masih dihadapi sektor pertanian di masa yang akan datang mencakup:

1. kerusakan lingkungan dan perubahan iklim;
2. terkait masalah infrastruktur, sarana prasarana, lahan dan air;
3. terkait sempitnya kepemilikan lahan;
4. terkait dengan sistem pembenihan dan pembibitan nasional;
5. terkait akses petani terhadap permodalan dan kelembagaan petani dan penyuluh;
6. terkait keterpaduan antar sektor atau koordinasi serta sinergi antar sektor. Selain itu, tantangan dan permasalahan pembangunan pertanian juga dapat terkait dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk dan perubahan lingkungan strategis global.

Sektor pertanian Indonesia tidak bisa terlepas dari ketergantungan pada kondisi alam. Musim kemarau dan hujan yang tidak teratur menjadi faktor utama yang memengaruhi hasil panen dan produksi pertanian. Perubahan iklim dan kondisi cuaca yang tidak menentu dapat berdampak negatif pada produksi pertanian. Yang tidak kalah penting adalah kerusakan lingkungan yang semakin masif terjadi. Kerusakan lingkungan ini disebabkan oleh adanya penumpukan

limbah yang tidak dikelola dengan baik serta penggunaan bahan-bahan kimia, baik sebagai pupuk maupun sebagai bahan pembasmi hama dan penyakit tanaman. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi perubahan iklim adalah dengan meningkatkan sistem irigasi di area pertanian agar dapat menghasilkan produksi yang konsisten sepanjang tahun. Hal ini juga disertai dengan peningkatan kesadaran petani akan teknik pertanian yang efektif dan mandiri. Oleh karena itu, pemerintah perlu mendukung petani dan memberikan bantuan, seperti alat dan peralatan pertanian, pusat pelatihan pertanian, dan fasilitas pendukung lainnya. Sementara itu, untuk kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh adanya limbah yang tidak dikelola dengan baik, upaya yang dilakukan pemerintah adalah membuat pupuk tanaman dan obat hama penyakit tanaman yang berasal dari limbah pertanian, peternakan, perikanan, maupun dari masyarakat. Pengenalan dan penggunaan *eco-enzyme* dan biosaka mulai banyak digaungkan kepada petani oleh pemerintah melalui penyuluh pertanian.

Untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi pertanian, pemerintah juga memberikan dukungan pengembangan infrastruktur jalan dan akses ke pasar yang lebih baik. Melalui dukungan tersebut, hasil pertanian dapat disalurkan ke pasar secara lebih efektif dan dijual dengan harga yang lebih baik. Sektor pertanian Indonesia saat ini masih menghadapi beberapa tantangan yang perlu diatasi, seperti rendahnya tingkat investasi serta masalah produktivitas dan ketergantungan pada kondisi alam. Namun demikian, upaya-upaya yang dilakukan oleh pemerintah dan masyarakat untuk meningkatkan sektor pertanian Indonesia sudah cukup signifikan, baik dalam peningkatan investasi, produktivitas, upaya menciptakan lapangan pekerjaan, serta peningkatan infrastruktur dan akses pasar yang lebih efektif. Oleh karena itu, Indonesia masih dapat membangun sektor pertanian yang lebih maju pada masa depan.

Permasalahan rendahnya tingkat investasi menjadi salah satu tantangan untuk kemajuan pertanian di Indonesia. Hal ini karena para investor masih berpikir bahwa sektor pertanian di Indonesia kurang menarik untuk diinvestasikan. Akibatnya, sektor pertanian

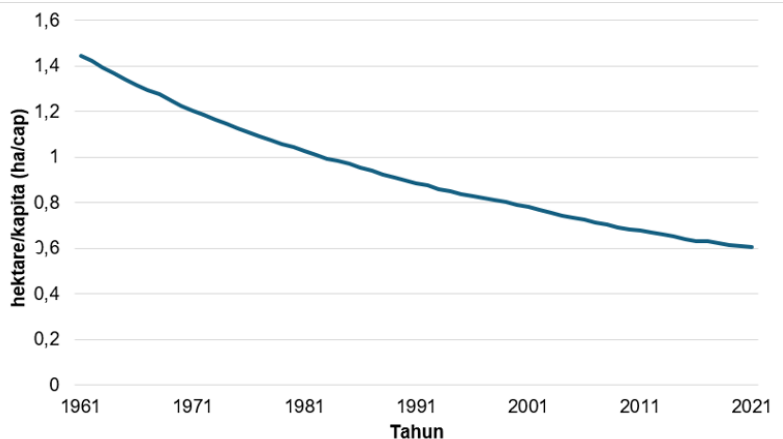
membutuhkan peningkatan investasi dalam rangka meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi pertanian. Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah baru-baru ini adalah dengan mengeluarkan kebijakan guna meningkatkan investasi di sektor pertanian, seperti kebijakan penghapusan pajak dan biaya izin usaha, memberikan fasilitas kredit, dan pengurangan tarif untuk impor alat pertanian (Erwidodo et al., 2018). Upaya-upaya tersebut diharapkan dapat meningkatkan minat investor untuk berinvestasi di sektor pertanian.

Kendati demikian, berdasarkan pada nilai *Total Factor Productivity* (TFP), produktivitas sektor pertanian masih tergolong cukup rendah dengan nilai kurang dari 1 (Subramanian et al., 2005; Nurhanifah & Budiasih, 2023). Ditambah dengan permasalahan distribusi yang kurang efisien menyebabkan gagal panen atau berkurangnya kualitas hasil pertanian. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas adalah dengan meningkatkan penggunaan teknologi yang lebih modern dan terbarukan, seperti alat pertanian yang lebih efisien dan efektif, pupuk organik dan pestisida yang ramah lingkungan, serta pengolahan hasil pertanian yang lebih efektif. Dengan begitu, tingkat produktivitas pada sektor pertanian dapat meningkat secara signifikan.

BAB II

PERTANIAN TERPADU TANPA LIMBAH SEBAGAI PELUANG PERTANIAN BERKELANJUTAN

Sektor pertanian menjadi sektor unggulan yang menyumbang kebutuhan makanan dan nutrisi untuk populasi manusia di dunia, yang mana populasi ini semakin tahun semakin bertambah. Data dari United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022), memprediksi bahwa populasi manusia secara global mampu bertumbuh menjadi sekitar 8,5 miliar pada tahun 2030, kemudian meningkat menjadi 9,7 miliar pada tahun 2050, dan 10,4 miliar pada tahun 2100. Semakin banyak populasi manusia yang ada di dunia, membuat kebutuhan bahan pokok konsumtif semakin meningkat sehingga ada potensi terjadi ketidakseimbangan antara ketersediaan dan juga permintaannya. Gambar 2.1 dari FAO (2024) berikut dapat memberikan gambaran umum terkait kondisi lahan pertanian yang berkaitan dengan kemampuan produksi dari tahun 1961 hingga 2021.



Keterangan: Kondisi lahan pertanian yang semakin menurun dari tahun ke tahun, yang tidak sebanding dengan adanya permintaan konsumen akan kebutuhan pangan.

Sumber: FAO (2024)

Gambar 2.1 Luas Lahan Pertanian Global per Kapita (1961–2021)

Data pada Gambar 2.1 (FAO 2024) menunjukkan bahwa luas lahan pertanian di dunia mencapai 5 miliar hektare (38% dari permukaan lahan bumi) yang penggunaannya terdiri atas lahan pertanian dan padang rumput. Karena populasi dunia yang terus bertambah menjadi hampir dua kali lipat (dari tahun 1961 hingga 2021), permintaan makanan menjadi lebih besar dibandingkan dengan sebelumnya sehingga asumsinya adalah jumlah lahan pertanian yang ada harus bisa mencukupi kebutuhan dari semua populasi yang ada di dunia. Namun, faktanya menunjukkan bahwa luas lahan pertanian secara global mengalami penurunan drastis dari 1,45 hektare pada tahun 1961 menjadi 0,60 hektare pada tahun 2021. Sementara itu, luas lahan di Indonesia dari periode tahun 1961 hingga 2021 mengalami penurunan mencapai setengahnya dari 0,43 ha pada tahun 1961 menjadi 0,24 ha pada tahun 2021. Walaupun terdapat beberapa fase, di mana lahan pertanian Indonesia meningkat lebih dari 100%, yaitu (FAO, 2024) sebagai berikut.

1. Tahun 1984–1987 mengalami peningkatan 110% dari 0,22 ha menjadi 0,25 ha.
2. Tahun 1998–2014 mengalami peningkatan 106% dari 0,21 ha menjadi 0,22 ha.
3. Tahun 2015–2017 mengalami peningkatan 107% dari 0,22 ha menjadi 0,23 ha.

Perhitungan secara agregat menunjukkan bahwa lahan pertanian di Indonesia mengalami penurunan mencapai 0,14 ha atau berkurang 38% dari data luas awal lahan pertanian pada tahun 1961. Cuplikan data dan fakta ini tentu saja sudah dapat menjawab pertanyaan kita sebelumnya, yang menunjukkan semakin bertambahnya populasi di dunia secara umum (Indonesia secara khusus) maka permasalahan yang akan muncul adalah ketidakseimbangan antara pola konsumsi (*supply and demand*), yang salah satu faktor penyebabnya adalah semakin berkurangnya lahan pertanian sebagai sumber bahan pokok produksi, sumber air, dan lainnya (Lem et al., 2014; Fitton et al., 2019; Ivanka et al., 2024).

“Apakah ada solusi yang ditawarkan terkait dengan permasalahan lahan yang berdampak pada potensi ketidakseimbangan supply-demand ini?”

Selama berabad-abad, para petani telah belajar menggunakan sumber daya alam secara efisien dan melestarikannya untuk bisa memastikan bahwa kebutuhan pada masa yang akan datang akan tetap terpenuhi. Telah banyak hasil penelitian dan juga temuan dari para praktisi yang membantu para petani untuk memperoleh informasi mengenai metode pengelolaan pertanian yang tepat guna. Salah satu metode yang saat ini sedang banyak diimplementasikan di dunia adalah “*Integrated Farming System (IFS)*”, yang kemudian di buku ini dilengkapi menjadi “Pertanian Terpadu tanpa Limbah” atau Sistem Pertanian Terpadu (SPT) tanpa Limbah. Di tengah kelangkaan lahan dan cuaca yang tidak menentu, Pertanian Terpadu tanpa Limbah dianggap sebagai solusi bagi petani untuk mengelola lahannya secara produktif. Pertanian terpadu menggunakan beberapa inisiatif budidaya di area yang sama untuk menghasilkan pertanian

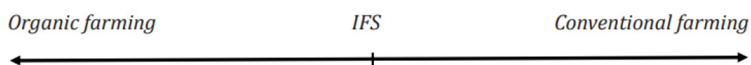
yang lebih berkelanjutan. Sistem ini menggabungkan pertanian, peternakan, perikanan, dan kegiatan lain menggunakan lahan yang sama—memungkinkan petani untuk mendapatkan penghasilan tambahan daripada mengandalkan satu jenis tanaman (April, 2018). Pertanian Terpadu berarti lebih dari sekadar menerapkan jumlah pupuk yang tepat, memberi makan hewan ternak dengan benar atau menjaga tanaman tetap sehat. Pertanian Terpadu didasarkan pada pendekatan holistik (keseluruhan pertanian) pada manajemen berbasis ilmu pengetahuan serta perpaduan optimal antara pengalaman dan inovasi dalam pola terus-menerus, yakni perencanaan, evaluasi, dan peningkatan manajemen.

A. Latar Belakang Munculnya Konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah

Pertanian Terpadu tanpa Limbah dikembangkan pada akhir tahun 1970-an di wilayah Eropa sebagai bagian dari strategi untuk membangun dan mewujudkan sistem pertanian yang berkelanjutan yang disesuaikan dengan kondisi bentang alam setempat. Sistem ini lahir untuk bisa menyadarkan masyarakat mengenai masalah lingkungan yang ditimbulkan dari pengelolaan lahan pertanian secara konvensional akibat dari adanya penelitian mengenai Pengendalian Hama Terpadu di Eropa (Holland et al., 1994) dan Belanda (Vereijken & Royale, 1989).

Pada tahun 1981, Inggris telah melakukan serangkaian penelitian untuk menunjukkan prospek dan peluang dari implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah untuk bisa diterapkan di dunia. Hal ini dilakukan mengingat bahwa sektor pertanian diharapkan akan menjadi sektor yang tangguh dan berkelanjutan, dan pada saat yang sama menghasilkan banyak manfaat bagi petani kecil, termasuk manfaat jangka panjang untuk jasa ekosistem. Integrasi dan diversifikasi di pertanian kecil dan marginal dapat mengatasi banyak tantangan yang berkembang ini.

Konsep dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat didefinisikan sebagai “konsep jalan tengah”, yang mengambil manfaat dari kedua jenis sektor pertanian, yaitu sektor pertanian organik dan sektor pertanian konvensional (Gambar 2.2). Pertanian Terpadu tanpa limbah merupakan jalan tengah dari sistem pertanian yang lain. Hal ini didasarkan pada bentuk praktik pertanian konvensional telah membawa hambatan ekonomi yang terkait dengan eksploitasi produksi tanaman, peningkatan pengeluaran *input* terkait energi, dan penurunan pendapatan pertanian. Ini juga menyebabkan masalah ekologis, seperti keanekaragaman hayati yang buruk, polusi tanah dan air, serta erosi tanah. Dengan demikian, penerapan sistem produksi pertanian terpadu yang umumnya melibatkan penggunaan *input* yang lebih rendah, misalnya pupuk, bahan kimia (pestisida), dan budidaya dapat mengurangi masalah ekonomi dan ekologi ini.



Keterangan: Sistem Pertanian Terpadu merupakan “jalan tengah” antara pertanian organik dan pertanian konvensional dengan mengoptimalkan komponen positif di masing-masing sistem pertaniannya.

Sumber: Lal et al. (2023)

Gambar 2.2 Posisi Pertanian Terpadu tanpa Limbah dalam Perkembangan Sistem Pertanian

Pertanian terpadu adalah kata yang umum dan luas digunakan untuk menjelaskan pendekatan pertanian yang lebih terintegrasi dibandingkan dengan pendekatan monokultur dan ini mengacu pada sistem pertanian yang mengintegrasikan produksi ternak dan tanaman. Pertanian Terpadu tanpa Limbah merevolusi pertanian konvensional dengan memberi peluang adaptasi dan integrasi dari beberapa sektor lain, seperti peternakan, perikanan, dan lainnya. Integrasi yang dapat terjadi dapat berupa integrasi antara tanaman-ikan, integrasi ternak-ikan, integrasi tanaman-ikan-ternak atau kombinasi tanaman, ternak, ikan, dan usaha lainnya. Menurut Jayanthi et al. (2000), Pertanian Terpadu tanpa Limbah menggabungkan

sistem pertanian hewan ternak, ikan, serta unggas dan tanaman, di mana hewan memakan produk sampingan agraria dan tubuh hewan digunakan dalam budidaya tanah dan menyediakan pupuk kandang yang digunakan sebagai pupuk dan bahan bakar. Hal ini berpeluang untuk meningkatkan pendapatan dan produktivitas lahan pertanian karena penggunaan pupuk yang tidak berlebihan dan penggunaan konsep 3R (*reduce, reuse, recycle*) pada setiap prosesnya.

Menurut Edwards (1990), dasar dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah memiliki kaitan erat dari konsep yang disampaikan oleh FAO (1978), yaitu “limbah hanyalah sumber daya yang salah tempat dan berpotensi menjadi bahan berharga untuk produk lain”. Konsep dasar ini yang sangat relevan untuk memaksimalkan keuntungan dan meningkatkan efisiensi sistem pertanian, baik di wilayah pedesaan maupun di wilayah perkotaan dengan lahan yang terbatas.

Pertanian Terpadu tanpa Limbah menggunakan strategi pengelolaan sumber daya yang unik untuk membantu mencapai manfaat ekonomi dan mempertahankan produksi pertanian tanpa merusak basis sumber daya dan kualitas lingkungan. Berbagai alasan yang mendasari strategi tersebut mencakup penurunan pendapatan pertanian, berkurangnya kesuburan tanah, permintaan pasar, variabilitas iklim, mempekerjakan tenaga kerja keluarga, dan alasan lainnya. Lebih lanjut, para ahli pembelajaran praktik pertanian pada agroekosistem kompleks mengembangkan Pertanian terpadu tanpa Limbah yang unik, yang tahan terhadap berbagai perubahan. Dalam sistem tersebut, semua komponen pertanian seperti tanaman-ternak-ikan-kehutanan-hortikultura terintegrasi secara mudah. Selain itu, basis ekosistem, seperti konservasi tanah dan air juga dianggap penting dalam jenis sistem pertanian ini. Dengan demikian, Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat memberikan teknologi yang ramah lingkungan dan ekonomis yang mencakup pemanfaatan sumber daya yang tersedia secara rasional di wilayah tersebut. Fokus utama dalam sistem tersebut adalah pada optimalisasi pemanfaatan sumber daya dengan memaksimalkan elemen individu dalam sistem.

B. Tujuan dari Pengembangan Pertanian Terpadu tanpa Limbah

Pertanian Terpadu tanpa Limbah sebagai bagian dari pertanian hijau bertujuan untuk memaksimalkan limbah untuk *input* dari produk lainnya, atau dalam arti lainnya adalah bentuk dari ekonomi sirkular antar berbagai komponen. Hal ini membuat Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat meminimalkan proses *input-output* yang ada dalam sebuah sistem sehingga dapat meminimalkan limbah pertanian yang mengarah pada ekonomi yang lebih hijau di bidang pertanian (Broman & Robert, 2017; Lal et al., 2020). Dari basis “meminimalisasi proses *input-output*”, hal ini menunjukkan bahwa Pertanian Terpadu tanpa Limbah juga melibatkan intensifikasi pertanian, diversifikasi, dan penambahan nilai dalam prosesnya. Adapun tujuan akhirnya adalah membantu meningkatkan akses fisik dan ekonomi terhadap pangan sehingga mendorong ketahanan pangan berkelanjutan di tingkat setiap individu dalam rumah tangga. Memaksimalkan keuntungan yang dapat dihasilkan dengan terus meningkatkan produktivitas yang berkelanjutan serta terus meminimalisasi efek negatif dari intensifikasi pertanian adalah serangkaian praktik yang diharapkan dari implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Menurut Manjunatha et al. (2014) dan Sharma et al. (2021), Pertanian Terpadu tanpa Limbah memiliki empat tujuan utamanya tersendiri sebagai berikut.

1. Meningkatkan pendapatan masyarakat secara umum dan menstabilkan produktivitas sistem pertanian.
Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang mengoptimalkan proses *input-output* dalam sebuah sistem tentu akan mengurangi biaya yang dibutuhkan dari manajemen sistem tersebut (dalam hal ini adalah sistem pertanian). Didukung dengan konsep “*no-waste*” dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah, efisiensi dan produktivitas dari sistem dengan implementasi yang tepat dapat meningkat, yang secara langsung dapat berdampak pada peningkatan pendapatan dan juga meningkatkan kesejahteraan

petani kecil. Pertanian Terpadu tanpa Limbah dianggap sebagai sumber pendapatan tambahan bagi komunitas petani.

2. Mendorong tercapainya keseimbangan agroekologis melalui pengurangan penumpukan hama dan penyakit, melalui pengelolaan sistem tanam alami dan pengurangan penggunaan bahan kimia (pupuk dan pestisida anorganik).
Munculnya keseimbangan ini juga tidak terlepas dari adanya konsep “*no-waste*” dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Sistem pertanian merupakan kegiatan agroekonomi yang saling terkait, yang mana komponen-komponennya saling berinteraksi dalam suatu tatanan agraria tertentu. Dorongan utamanya adalah untuk meminimalkan risiko dalam diversifikasi pertanian, meskipun tanaman dan usaha lain hidup berdampingan pada suatu lahan atau lingkungan tertentu. Pertanian Terpadu tanpa Limbah memastikan campuran rasional dari satu atau lebih elemen dan penanaman, menghasilkan efek pelengkap melalui penggunaan (daur ulang) limbah dan sisa tanaman secara efektif (Varughese & Mathew, 2009).
3. Menyediakan teknologi yang berkelanjutan secara lingkungan dan layak secara ekonomi yang mencakup pemanfaatan sumber daya yang tersedia secara rasional di wilayah tersebut.
Pertanian Terpadu tanpa Limbah memberikan perhatian yang lebih besar pada pengelolaan yang tepat dari sumber daya pertanian yang tersedia untuk meningkatkan produktivitas selain mengurangi degradasi lingkungan. Pertanian Terpadu tanpa Limbah adalah pendekatan yang tepat untuk meminimalkan risiko dan meningkatkan produksi, keuntungan, dan pekerjaan dengan pemanfaatan sumber daya yang lebih baik (Dhaka et al., 2009)
4. Melestarikan basis sumber daya alam, melindungi lingkungan, dan meningkatkan kemakmuran untuk jangka waktu yang lebih lama.
Pertanian Terpadu tanpa Limbah biasanya memungkinkan sistem produksi pertanian berkelanjutan, efisien (3-6 kali lebih

menguntungkan), dan efektif dalam jangka panjang. Sekitar 90-95% dari kebutuhan nutrisi dapat dipertahankan sendiri melalui daur ulang sumber daya yang mengurangi biaya budidaya dan meningkatkan margin keuntungan dan lapangan kerja. Untuk mempertahankan ketahanan pangan dan gizi, pendekatan Pertanian Terpadu tanpa Limbah menjanjikan dan akan melestarikan basis sumber daya dengan mendaur ulang residu dan limbah secara efisien di dalam sistem (Kumar et al., 2019).

Pertanian Terpadu tanpa Limbah mampu meningkatkan persentase ketahanan pangan suatu kawasan dan meningkatkan kesempatan kerja, bahkan dalam kondisi iklim yang rentan karena dapat mengurangi risiko degradasi lingkungan yang akan ditimbulkan (Putri et al., 2023). Hal ini karena sistem ini adalah sebuah matriks yang kompleks yang terdiri atas elemen tanah, air, tanaman, hewan, dan lingkungan yang saling terkait yang kemudian berinteraksi, memungkinkan sistem lebih layak dan menguntungkan dibandingkan sistem pertanian lainnya. Tentu saja ini akan berdampak pada hasil produksi yang lebih berkualitas (dengan catatan pengelolaan yang dilakukannya sudah benar). Integrasi usaha-usaha ini tentu akan membantu produksi, konsumsi, dan dekomposisi secara realistis dalam suatu ekosistem.

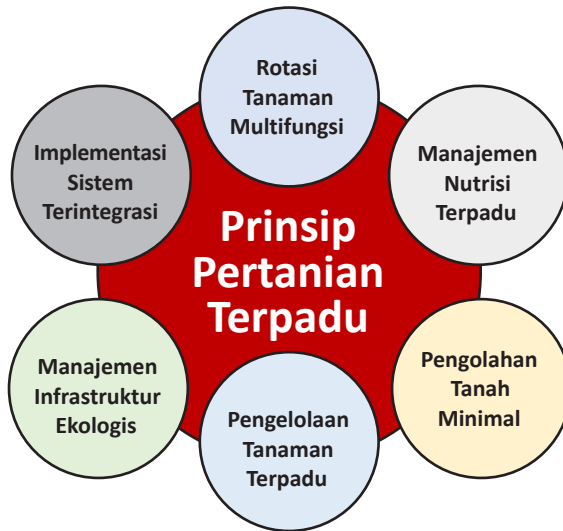
C. Prinsip yang Membangun Pertanian Terpadu tanpa Limbah

Pendekatan holistik yang menyatakan bahwa sebuah sistem harus dipandang sebagai sesuatu yang utuh merupakan salah satu karakteristik dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah, yang mana di dalamnya terdapat interaksi antara komponen lingkungan, sosial, teknologi, dan lainnya. Dalam sistem ini dan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa proses *input-output* pada Pertanian Terpadu tanpa Limbah diupayakan untuk menjadi lebih efisien dan efektif. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi biaya perawatan

dan meningkatkan pendapatan. Karena dalam prosesnya, sistem ini menggunakan “limbah” sebagai bahan baku untuk produk lainnya.

Interaksi dan terpadu menjadi kata kunci dalam sistem ini. Limbah dari satu komponen menjadi *input* bagi komponen sistem yang lain, mengurangi kebutuhan untuk membeli dan menggunakan *input* yang mahal dan berpotensi menimbulkan polusi, seperti bahan bakar, pupuk dan pestisida, mengurangi polusi ke lingkungan dan meningkatkan produksi atau pendapatan secara keseluruhan. Archer et al. (2018) menyatakan bahwa Pertanian Terpadu tanpa Limbah mencakup beberapa komponen tumbuhan yang saling berinteraksi. Sistem ini termasuk rotasi tanaman, penggunaan tanaman penutup tanah tahunan, tanaman pupuk hijau, atau tumpang sari untuk mengurangi kebutuhan *input* yang dibeli dengan meningkatkan atau mempertahankan nutrisi dan mengurangi gulma, penyakit, dan tekanan hama pada pertanian.

Seperti konsep pada umumnya, kunci dalam sistem ini terdiri atas prinsip dan prosedur yang harus diikuti karena sistem ini menggabungkan aspek manajemen pertanian, keseimbangan ekosistem, ekonomi, dan lainnya. Prinsip dan prosedur Pertanian Terpadu tanpa Limbah dikenalkan kepada petani agar bisa diimplementasikan dengan baik dan benar. Hal ini didasarkan pada pernyataan bahwa setiap pertanian dan tanaman harus dipertimbangkan secara terpisah berdasarkan riwayat sebelumnya, pemantauan tanaman saat ini, dan tujuan individu petani. Ini merupakan hal yang sangat kompleks karena terkait dengan faktor psikologis petani (tujuan dan harapan petani). Selain itu, perbedaan kondisi ekosistem membuat tidak semua contoh implementasi yang berhasil pada suatu wilayah akan efektif di wilayah lainnya. Oleh karena itu, dibutuhkan prinsip-prinsip utama dalam proses implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Holland (2020) merumuskan bahwa setidaknya terdapat enam (6) prinsip yang harus diperhatikan dalam implemementasi sistem terpadu ini dan secara keseluruhan semua prinsip ini bekerja secara berurutan untuk keseimbangan semua sumber (Gambar 2.3).



Keterangan: Terdapat setidaknya enam prinsip dalam implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah.

Sumber: Holland (2020)

Gambar 2.3 Prinsip dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah

1. Rotasi Tanaman Multifungsi

Rotasi tanaman multifungsi merupakan prinsip utama dalam praktik sistem pertanian terpadu. Rotasi tanaman melibatkan penanaman berbagai jenis tanaman secara berurutan di lahan yang sama untuk memperoleh berbagai manfaat pertanian, ekologi, dan ekonomi (Zhao et al., 2025). Praktik ini telah digunakan selama berabad-abad untuk mencegah penurunan produktivitas tanah dan mengendalikan hama (Scott et al., 2022; Guinet, et al., 2023). Namun, dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah, rotasi tanaman dirancang dengan mempertimbangkan adanya multifungsi, yang tidak hanya mencakup kesuburan tanah, tetapi juga peningkatan keanekaragaman hayati, pengelolaan hama dan penyakit, serta keberlanjutan pertanian secara keseluruhan. Salah satu keuntungan utama rotasi tanaman multifungsi adalah peningkatan kesuburan tanah. Tanaman yang

berbeda memiliki kebutuhan nutrisi dan kedalaman perakaran yang berbeda, yang membantu meminimalkan penipisan nutrisi di dalam tanah (Tamburini et al., 2020). Sebagai contoh, kacang-kacangan dapat mengikat nitrogen di dalam tanah, yang menguntungkan tanaman berikutnya seperti sereal yang membutuhkan kadar nitrogen tinggi (Kebede, 2021). Pengisian nutrisi alami ini mengurangi kebutuhan akan pupuk sintetis, yang mendorong keberlanjutan lingkungan. Rotasi tanaman juga berperan penting dalam mengelola hama dan penyakit. Menanam tanaman yang sama berulang kali di lahan yang sama dapat menyebabkan penumpukan hama dan patogen yang khusus untuk tanaman tersebut. Dengan merotasikan tanaman, siklus hidup organisme ini terganggu sehingga mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia (Harefa et al., 2025). Hal ini meningkatkan keseimbangan ekologi dan mendorong organisme yang bermanfaat seperti predator alami hama.

Selain pengendalian hama dan pengelolaan nutrisi, rotasi tanaman multifungsi mendorong keanekaragaman hayati dengan mendorong budidaya berbagai spesies. Keanekaragaman ini membantu membangun ketahanan terhadap perubahan lingkungan, seperti pola cuaca yang berfluktuasi dan ketersediaan air. Selain itu, rotasi tanaman meningkatkan penggunaan air dan nutrisi yang efisien. Alasannya karena tanaman yang berbeda memiliki kebutuhan air dan sistem perakaran yang berbeda. Misalnya, tanaman yang berakar dalam dapat mengakses nutrisi dari lapisan tanah yang lebih rendah, sedangkan tanaman yang berakar dangkal memanfaatkan nutrisi di dekat permukaan. Terakhir, rotasi tanaman juga menguntungkan petani secara ekonomi. Dengan mendiversifikasi tanaman, petani dapat menyebarkan risiko keuangan mereka dan mengurangi ketergantungan mereka pada satu tanaman sehingga memberikan stabilitas pendapatan.

Rotasi tanaman dapat dikatakan sebagai elemen inti dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Minimal terdapat empat rotasi tanaman yang berbeda dalam sistem ini karena rotasi tanaman menambah lebih banyak peluang untuk membangun kesuburan tanah

dan mencegah terbawanya penyakit dan hama. Meskipun pilihan tanaman akan bergantung pada lokalitas, pasar, dan harga, ada beberapa prinsip umum. Tanaman yang membangun kesuburan tanah (tanaman polongan dan tanaman dengan *input* bahan organik tinggi, misalnya rumput) harus diselingi dengan tanaman yang mengurangi kesuburan fisik dan kimia tanah (tanaman umbi-umbian dengan *input* bahan organik rendah, misalnya kentang dan bit). Urutan setiap tanaman juga dapat digunakan untuk memastikan adanya peluang untuk mengendalikan gulma rumput pada tanaman berdaun lebar dan agar organisme pengganggu disimpan di bawah ambang ekonomi dengan memastikan tidak ada satu jenis atau kelompok tanaman yang ditanam secara berurutan. Mungkin harus ada kompromi dan rotasi yang dipilih akan mencerminkan prioritas ekonomi, agronomi, atau lingkungan masing-masing petani. (Rotasi tanaman juga dijelaskan pada Bab 4).

2. Manajemen Nutrisi Terpadu

Manajemen nutrisi terpadu merupakan elemen lain dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Elemen ini berkaitan dengan penggunaan sumber nutrisi organik dan anorganik yang seimbang dan bijaksana untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman dengan cara yang berkelanjutan bagi lingkungan. Tujuan manajemen nutrisi terpadu adalah mengoptimalkan masukan nutrisi dalam pertanian sekaligus meminimalkan dampak negatifnya terhadap lingkungan sehingga dapat menjaga kesehatan tanah serta kaya akan bahan organik dan nutrisi penting. Bahan organik, seperti sisa tanaman, kompos, dan pupuk kandang sering kali diaplikasikan ke tanah untuk meningkatkan strukturnya, kapasitas retensi air, dan aktivitas mikroba. Masukan organik ini berfungsi sebagai sumber nutrisi yang dilepaskan secara perlahan, memastikan kesuburan jangka panjang dan mengurangi kebutuhan akan pupuk sintetis. Selain input organik, komponen ini mendorong penggunaan pupuk anorganik, tetapi hanya sebagai suplemen untuk bahan organik. Pendekatan yang seimbang ini membantu memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman secara langsung tanpa menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi atau polusi. Pupuk anorganik digunakan dalam pertanian presisi untuk

menargetkan kekurangan nutrisi tertentu berdasarkan uji tanah sehingga menghindari aplikasi berlebihan, yang dapat menyebabkan pencucian, limpasan, dan kontaminasi air.

Manajemen nutrisi terpadu menekankan daur ulang nutrisi dalam ekosistem pertanian. Hal ini melibatkan pengembalian sisa-sisa tanaman dan hewan ke dalam tanah untuk menjaga kesuburannya dari waktu ke waktu. Tanaman penutup, pupuk hijau, dan sisa-sisa tanaman semuanya berkontribusi pada daur ulang nutrisi dengan memperkaya tanah dengan unsur-unsur penting, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Daur ulang nutrisi mengurangi ketergantungan pada masukan eksternal dan meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian (TechSci Research, 2024). Secara lebih komprehensif, manajemen nutrisi terpadu berkontribusi pada ketahanan iklim dengan meningkatkan kadar karbon organik tanah. Tanah yang kaya akan bahan organik menyerap karbon yang membantu mengurangi perubahan iklim sekaligus meningkatkan kesuburan tanah (The Institute for Carbon Removal Law and Policy, 2020). Dengan demikian, integrasi sumber nutrisi organik dan anorganik memastikan penggunaan sumber daya yang efisien dan meminimalkan kerusakan lingkungan.

Selain rotasi tanaman, adanya proses *input* dari pupuk anorganik dan organik sangat penting untuk mempertahankan hasil dan kualitas. Dalam rangka efisiensi proses *input-output* maka *output* dari hasil produksi lain dapat menjadi *input* bagi produksi lainnya. Namun, penting untuk selalu diperhatikan bahwa pasokan nutrisi yang ada selalu terukur sehingga tidak mendorong pada eutrofikasi air, pertumbuhan gulma, mendatangkan hama lainnya, dan menjadi media penyebaran penyakit. Penggunaan pupuk organik sebagai *input* ini memiliki manfaat sebagai berikut.

- a. Peningkatan suplai hara tanah dan struktur fisik.
- b. Mendorong organisme bermanfaat, seperti invertebrata predator dan mikroba.
- c. Biaya lebih rendah.
- d. Penghematan sumber daya tak terbarukan.

Suplai hara melalui penggunaan *input off-farm* perlu dioptimalkan secara bijaksana. Selain itu, penggunaan pupuk organik sedapat mungkin dan pemilihan rotasi tanaman suplai hara akan menghasilkan manfaat ekonomi bagi petani dan lingkungan, terutama kualitas air.

3. Meminimalisasi Pengolahan Tanah

Komponen ini dapat didefinisikan sebagai pengolahan tanah konservasi atau pertanian tanpa olah tanah. Ini merupakan prinsip utama lainnya dari Sistem Pertanian Terpadu. Prinsip ini melibatkan pengurangan frekuensi dan intensitas gangguan tanah selama produksi tanaman. Sementara itu, pengolahan tanah konvensional melibatkan pembajakan dan pembalikan tanah, pengolahan tanah minimum membiarkan sebagian besar struktur tanah tetap utuh, yang memiliki banyak manfaat lingkungan dan agronomi.

Budidaya tanah membutuhkan *input* energi dan mesin yang tinggi, merusak fauna tanah yang bermanfaat, serta mendorong erosi dan pencucian nutrisi. Mengadopsi sistem budidaya tanah untuk meminimalkan efek ini merupakan komponen penting dari setiap sistem terintegrasi. Jenis dan intensitas budidaya harus dipilih sesuai dengan jenis tanah dan perhatian agronomis (misalnya, komposisi spesies gulma).

Pengolahan tanah konservatif atau noninversi dalam kombinasi dengan mulsa harus dimaksimalkan sehingga mengonsentrasikan bahan organik tanah di lapisan tanah bagian atas (Busari et al., 2015). Ini meningkatkan struktur tanah dan kemampuan kerja, mengurangi erosi dan pencucian zat hara, meningkatkan toleransi kekeringan, dan menciptakan kondisi yang lebih menguntungkan bagi invertebrata pemangsa yang menguntungkan, mikroorganisme tanah, dan cacing tanah yang dapat mendorong pada kesuburan tanah. Pengolahan tanah konservatif berpotensi untuk menghemat waktu, bahan bakar, dan biaya (Sumarniasih et al., 2023). Sebagai contohnya adalah dengan melakukan manajemen pengendalian gulma, karena gulma bersaing dengan tanaman untuk mendapatkan cahaya, air, nutrisi, dan ruang sehingga diperlukan pola pengendalian gulma yang tepat dengan

tidak hanya mengandalkan herbisida untuk mempertahankan hasil panen (Storkey et al., 2012; Strandberg et al., 2017). Dalam manajemen pengendalian gulma, memahami setiap fase pertumbuhan menjadi kunci penting di dalamnya sehingga dapat melakukan pengendalian secara lebih optimal dan efektif serta menghemat lebih banyak biaya (Kudsk & Mathiassen, 2020).

Salah satu manfaat terpenting dari pertanian tanpa olah tanah adalah pelestarian struktur tanah (USDA, 2016; EOS Data Analytics, 2025). Ketika tanah dibiarkan tanpa pengolahan maka tanah dapat mempertahankan porositas alaminya dan kemampuannya untuk menyerap dan menahan air. Hal ini dapat mengurangi risiko erosi tanah, yang menjadi masalah utama dalam pertanian konvensional, terutama di daerah yang rentan terhadap hujan lebat atau angin (Seitz et al., 2020). Erosi tanah tidak hanya menyebabkan hilangnya lapisan tanah atas yang subur, tetapi juga berkontribusi terhadap pencemaran air karena sedimen terbawa ke sungai dan anak sungai. Pertanian tanpa olah tanah juga mendorong pembentukan agregat tanah, yang meningkatkan penetrasi akar dan penyerapan nutrisi (Chellappa et al., 2021). Dengan menghindari pengolahan tanah yang berlebihan, pemadatan tanah berkurang, memungkinkan akar tumbuh lebih dalam dan mengakses air dan nutrisi dengan lebih efisien.

Keuntungan lainnya dari pengolahan tanah minimum adalah peningkatan aktivitas mikroba tanah. Tanah merupakan rumah bagi berbagai macam mikroorganisme, termasuk bakteri, jamur, dan cacing tanah, yang memainkan peran penting dalam siklus nutrisi, dekomposisi bahan organik, dan kesehatan tanah secara keseluruhan. Mengolah tanah (secara berlebihan) berpotensi untuk mengganggu aktivitas dari mikroba ini sehingga mengurangi efektivitasnya dalam mendukung kesuburan tanah. Dengan meminimalkan gangguan tanah, organisme bermanfaat ini dibiarkan tumbuh subur, yang berkontribusi pada kesuburan tanah jangka panjang. Selain itu, pertanian tanpa olah tanah membantu menyerap karbon di dalam tanah. Saat tanah diolah, bahan organik terpapar ke udara, yang menyebabkan pelepasan karbon dioksida. Dengan meninggalkan sisa tanaman di permukaan

tanah dan menghindari pembajakan yang dalam, lebih banyak karbon disimpan di dalam tanah sehingga mengurangi dampak perubahan iklim (Bertrand et al., 2022; Maia et al., 2022; Mondal et al., 2023).

4. Manajemen Tanaman Terpadu

Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) adalah pendekatan holistik terhadap produksi tanaman yang mengintegrasikan berbagai praktik untuk mencapai hasil panen yang tinggi sekaligus meminimalkan dampak lingkungan dari pertanian. PTT melibatkan beberapa komponen di dalamnya, yaitu (1) pengelolaan varietas tanaman, (2) pengendalian hama, (3) penggunaan air, dan (4) kesuburan tanah secara cermat untuk menciptakan sistem pertanian yang seimbang dan berkelanjutan. PTT meliputi prinsip-prinsip untuk pengendalian hama dan penyakit tanaman. Pendekatan ini memaksimalkan mekanisme pengaturan alami melalui adopsi empat komponen di atas dan menggunakan ketahanan tanaman, waktu tanam, ambang batas ekonomi, dan pestisida yang paling aman bagi lingkungan. Hal ini membutuhkan pemantauan tanaman yang lebih intensif dan mendorong musuh alami hama melalui penyediaan habitat yang sesuai dan penanaman perangkap juga dianjurkan.

Salah satu komponen utama dari PTT adalah Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) yang menekankan penggunaan praktik biologis, mekanis, dan kultural untuk mengendalikan hama dan penyakit. PHT mendorong penggunaan predator alami, serangga bermanfaat, rotasi tanaman, dan varietas tanaman tahan hama untuk mengurangi populasi hama. Pestisida kimia hanya digunakan sebagai pilihan terakhir, dan meskipun demikian, pestisida kimia diterapkan secara tepat sasaran dan bijaksana untuk meminimalkan kerusakan pada organisme nontarget dan lingkungan. PHT juga melibatkan pemantauan kesehatan tanaman dan populasi hama secara berkala untuk mendeteksi masalah sejak dini dan melakukan intervensi sebelum menjadi parah. Pendekatan proaktif ini mengurangi kebutuhan akan masukan kimia dan memastikan bahwa tanaman tetap sehat dan produktif.

Pengelolaan air yang efisien merupakan aspek penting lain dari PTT. Pada banyak wilayah, air merupakan sumber daya yang terbatas, dan penggunaan irigasi yang berlebihan dapat menyebabkan kelangkaan air dan salinitas tanah. PTT mendorong penggunaan teknologi hemat air, seperti irigasi tetes dan pemanenan air hujan untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan air. Selain itu, tanaman dipilih berdasarkan kebutuhan air dan iklim setempat untuk memastikan bahwa sumber daya air digunakan secara berkelanjutan. Efisiensi sumber daya tidak hanya terbatas pada air, tetapi juga mencakup penggunaan pupuk, benih, dan tenaga kerja. Dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya, PTT mengurangi biaya produksi dan meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan.

5. Manajemen Infrastruktur Ekologi

Manajemen Infrastruktur Ekologi (EIM) merupakan bagian integral dari Sistem Pertanian Terpadu yang berfokus pada konservasi dan peningkatan ekosistem alami di dalam dan di sekitar lanskap pertanian. Pendekatan ini mengakui bahwa pertanian tidak terjadi secara terpisah, tetapi dalam konteks ekologi yang lebih luas yang mencakup hutan, lahan basah, sungai, dan habitat satwa liar. Dengan mengelola infrastruktur ekologi ini, petani dapat meningkatkan keanekaragaman hayati, meningkatkan layanan ekosistem, dan membangun ketahanan terhadap perubahan lingkungan. Prinsip ini terkait dengan ketentuan dari tersedianya proporsi yang seimbang antara area pertanian dan juga ekosistem alami. Hal ini memiliki tujuan sebagai berikut.

- a. Menyediakan sumber spesies yang bermanfaat untuk pengendalian hama.
- b. Bertindak sebagai zona penyangga di sepanjang area yang sensitif secara ekologis seperti aliran air yang mencegah hilangnya nutrisi dan erosi tanah.
- c. Menyediakan perlindungan dari mana invasi ulang dapat terjadi setelah operasi pertanian yang merugikan; mencegah masuknya gulma ke ladang.
- d. Bertindak sebagai sumber keanekaragaman hayati.

Pembagian yang proporsional antar area ini dapat dilakukan dengan membuat batas berupa jalan setapak, pagar tanaman, garis pagar, rumput, atau strip herba yang diatur untuk memastikan masih adanya hubungan antar dua lokasi ini dengan tetap mempertahankan luasan tanah saat ini (tidak ekstensifikasi) dan direkomendasikan untuk area ekosistem alami ini besarnya minimal 5% dari lahan pertanian yang ada (Endang, 2018), meskipun keuntungan ekologis akan tergantung pada kualitas area ini. Potensi daerah dengan ekosistem penyangga yang berbeda memberikan dampak pengendalian hama yang berbeda serta memiliki fungsi sebagai zona penyangga.

6. Implementasi Sistem yang Terpadu

Implementasi Sistem Pertanian Terpadu yang sukses memerlukan pendekatan holistik yang mengintegrasikan semua prinsip yang telah dibahas, seperti rotasi tanaman multifungsi, pengelolaan nutrisi terpadu, pengolahan tanah minimum, pengelolaan tanaman terpadu, dan pengelolaan infrastruktur ekologis. Implementasi Sistem Pertanian Terpadu memerlukan perencanaan, pemantauan, dan adaptasi yang cermat terhadap kondisi setempat.

Seperti kita ketahui, bahwa dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah, kata *terpadu* memiliki makna yang mendalam. Hal ini mengisyaratkan bahwa dalam sistem pertanian ini sebuah keterpaduan antar komponen dapat memberikan dampak yang signifikan. Pendekatan ini membutuhkan pengetahuan dan komitmen petani yang cukup besar untuk mengimplementasikannya. Untuk mewujudkan keterpaduan, dibutuhkan pengetahuan, usaha, dan waktu yang cukup lama. Peran dari banyak sektor, seperti akademisi, pemerintah, dan lembaga swadaya masyarakat (LSM) menjadi sangat penting untuk mewujudkan implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah ini. Namun demikian, kegiatan pertanian masyarakat Indonesia yang masih didominasi oleh pertanian konvensional menjadi tantangan yang cukup berat dalam mengaplikasikan sistem ini.

Salah satu langkah pertama dalam menerapkan Pertanian Terpadu tanpa Limbah adalah mengembangkan rencana pertanian

komprehensif yang memperhitungkan kondisi lingkungan, sosial, dan ekonomi pertanian tertentu. Rencana ini harus mencakup jadwal rotasi tanaman, strategi pengelolaan nutrisi, tindakan pengendalian hama, dan praktik pengelolaan air. Infrastruktur alam pertanian, seperti hutan, lahan basah, dan badan air juga harus dimasukkan ke dalam rencana untuk memastikan bahwa layanan ekologis tetap terjaga.

Setelah Pertanian Terpadu tanpa Limbah diterapkan, pemantauan berkelanjutan sangat penting untuk menilai efektivitasnya dan melakukan penyesuaian sesuai kebutuhan. Petani harus secara teratur menguji kualitas tanah, memantau populasi hama, dan mengevaluasi hasil panen untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sebagaimana mestinya. Jika timbul masalah, seperti kekurangan nutrisi atau wabah hama, petani harus siap untuk menyesuaikan praktik mereka guna mengatasi tantangan ini. Selain itu, Pertanian Terpadu tanpa Limbah harus bersifat dinamis, berkembang seiring waktu, seiring dengan tersedianya teknologi dan praktik baru. Misalnya, teknologi pertanian presisi, seperti traktor berpemandu *global positioning system* (GPS) dan penginderaan jarak jauh dapat diintegrasikan ke dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan.

Kelayakan ekonomi Pertanian Terpadu tanpa Limbah juga merupakan pertimbangan penting. Meskipun prinsip-prinsip Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat mengarah pada keberlanjutan dan keuntungan jangka panjang, transisi awal mungkin memerlukan investasi dalam peralatan, pelatihan, dan infrastruktur baru. Petani mungkin juga memerlukan akses terhadap kredit, dukungan teknis, dan pasar untuk berhasil menerapkan dan memelihara Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Pemerintah dan organisasi pertanian dapat memainkan peran penting dalam menyediakan sumber daya ini dan mendukung petani dalam transisi mereka menuju pertanian berkelanjutan. Selain itu, dimensi sosial dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah tidak boleh diabaikan. Keberhasilan sistem ini bergantung pada partisipasi aktif petani, masyarakat pedesaan, dan pemangku kepentingan lainnya. Layanan penyuluhan, koperasi petani, dan

organisasi berbasis masyarakat dapat membantu menyebarluaskan pengetahuan, membangun kapasitas, dan mendorong kolaborasi di antara petani. Dengan bekerja sama, petani dapat berbagi praktik terbaik, mengurangi biaya, dan membangun ketahanan terhadap guncangan eksternal, seperti fluktuasi pasar dan perubahan iklim.

Sistem Pertanian Terpadu merupakan pergeseran paradigma dalam pertanian, yang menawarkan pendekatan berkelanjutan dan holistik terhadap produksi pangan yang mengatasi tantangan lingkungan dan ekonomi. Dengan menggabungkan rotasi tanaman multifungsi, pengelolaan nutrisi terpadu, pengolahan tanah minimum, pengelolaan tanaman terpadu, pengelolaan infrastruktur ekologis, dan penerapan yang cermat, Pertanian Terpadu tanpa Limbah menyediakan jalur menuju sistem pertanian yang lebih tangguh dan produktif. Seiring dengan terus bertambahnya populasi global, dan meningkatnya tekanan lingkungan, prinsip-prinsip Pertanian Terpadu tanpa Limbah menawarkan solusi yang layak untuk memastikan keamanan pangan, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan melindungi planet ini untuk generasi mendatang.

Buku ini tidak diperjualbelikan

BAB III

PEMAHAMAN UMUM PERTANIAN TERPADU TANPA LIMBAH

A. Dimensi Pembangunan Berkelanjutan dan Kaitannya dengan Konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah

Gagasan tentang *zero waste* muncul sebagai reaksi terhadap metode pengelolaan limbah secara linier. Dalam arti, limbah langsung dibuang ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan untuk dimanfaatkan kembali. Pengolahan limbah linier diklasifikasikan sebagai pengolahan yang tidak berkelanjutan karena penggunaan sumber daya alam yang tidak efisien dengan konsep “ambil-buat-buang”, di mana dapat mendorong pada kerusakan alam, seperti hilangnya keanekaragaman hayati dan mempercepat proses perubahan iklim (Rome Business School, 2023; European Investment Bank, 2023). Tanpa adanya alternatif pengolahan limbah yang lebih efisien, dengan mempertimbangkan pertumbuhan populasi, diperkirakan timbulan sampah tahunan secara global akan melonjak menjadi 3,4 miliar ton selama 30 tahun ke depan (dari timbulan sampah 2016 mencapai 2,01 miliar ton), atau sampah global akan meningkat sekitar

70% di tahun 2050 (Kaza et al., 2018). Untuk mengatasi hal tersebut, konsep *zero waste* sudah mulai banyak disosialisasikan dan beberapa telah diterapkan, tetapi masih membutuhkan adanya perbaikan dan penyesuaian. Konsep *zero waste* merupakan metode yang melingkar karena berusaha untuk memberantas limbah melalui desain ulang produk dan proses, dengan tujuan mengurangi produksi limbah dan mengoptimalkan potensi penggunaan kembali dan daur ulang (Kerdlap et al., 2019).

Pertanian Terpadu tanpa Limbah merupakan pendekatan pertanian yang menerapkan strategi *zero waste*. Korelasi antara Pertanian Terpadu tanpa Limbah dan tiga dimensi keberlanjutan, yaitu ekologi, ekonomi, dan sosial sangat kuat. Kerangka kerja Pertanian Terpadu tanpa Limbah menekankan pada prioritas ketahanan ekologis, kelayakan ekonomi, dan kesejahteraan sosial (Bhagat et al., 2024). Dengan mengintegrasikan dimensi-dimensi ini, Pertanian Terpadu tanpa Limbah memberikan pendekatan pertanian yang komprehensif dan sejalan dengan prinsip berkelanjutan.

1. Dimensi Ekologi

Pertanian Terpadu tanpa Limbah mengadopsi perspektif ekologis yang bertujuan untuk memajukan praktik pertanian berkelanjutan dengan memaksimalkan interaksi ekologis, melestarikan sumber daya alam, dan menambah keanekaragaman hayati. Sistem ini dapat dikatakan memiliki pendekatan holistik yang melibatkan integrasi berbagai komponen, termasuk tanaman, ternak, pohon, dan sistem perairan dalam sistem pertanian untuk mencapai efek sinergis dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan sehingga dapat memberikan berbagai keuntungan bagi ekosistem dan dimensi-dimensi yang lainnya.

Terdapat enam aspek yang dikatakan sebagai bagian penting dari hasil korelasi antara dimensi ekologi dan Pertanian Terpadu tanpa Limbah, sebagai berikut.

- a. **Konservasi Biodiversitas dan Lanskap Ekologis**
Penciptaan beragam habitat dan penyediaan relung untuk berbagai spesies tanaman dan hewan merupakan strategi kunci yang digunakan oleh Pertanian Terpadu tanpa Limbah untuk mempromosikan konservasi keanekaragaman hayati. Penggabungan berbagai konstituen dalam sistem pertanian menghasilkan kondisi ekologis yang beragam dan heterogen, serta mendorong spektrum makhluk hidup yang lebih luas. Kehadiran beragam spesies dalam suatu ekosistem memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengaturan hama, penyerbukan, siklus nutrisi, dan fungsi ekosistem secara keseluruhan (Diyaolu & Folarin, 2024; Jayaramaiah et al., 2024).

Selain itu, sistem ini juga berpotensi memberikan kontribusi yang signifikan terhadap konservasi lanskap melalui pelestarian habitat alami dan pembentukan koridor ekologi. Penggabungan flora arboreal, tanaman pagar, dan riparian menumbuhkan lingkungan yang kondusif untuk habitat fauna dan memfasilitasi interkoneksi ekosistem. Konektivitas ekologi memainkan peran penting dalam memfasilitasi pergerakan spesies, melestarikan keanekaragaman genetik, dan menegakkan proses ekologi.

- b. **Siklus Perputaran Nutrisi yang Efisien dan Mendorong Kesuburan Tanah**

Pendekatan Pertanian Terpadu tanpa Limbah memprioritaskan optimalisasi pemanfaatan dan daur ulang nutrisi dalam sistem. Integrasi hasil ternak dan tanaman dalam siklus nutrisi tertutup mampu mengurangi ketergantungan pada *input* dari komponen eksternal, seperti pupuk anorganik dan zat pertumbuhan tanaman lainnya. Kotoran hewan yang berada dalam sistem dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang memasok tanaman dengan nutrisi penting sehingga kotoran ternak tidak menjadi limbah berbahaya. Selain itu, ternak dapat diberikan makan dengan sisa tanaman. Siklus nutrisi ini juga dapat meningkatkan kesuburan tanah karena kandungan pupuk organik yang ada dalam kotoran

hewan tidak mencemari lingkungan (dengan dosis tertentu). Selain itu, mengurangi potensi terjadinya limpasan unsur hara dan mengurangi kebutuhan akan pupuk sintetis (Dewi & Afrida, 2022).

c. Manajemen Hama Penyakit Tanaman (HPT)

Strategi pengelolaan hama dan penyakit ekologi digunakan dalam konteks Pertanian Terpadu tanpa Limbah sehingga mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia (Asril et al., 2022; Djafar et al., 2024). Proses diversifikasi ekosistem pertanian dapat mengarah pada daya tarik predator alami dan organisme bermanfaat, yang dapat membantu pengendalian hama dan penyakit secara alami. Menanam tanaman pendamping melalui metode tumpang sari berpotensi mengganggu siklus hidup hama dan menawarkan lingkungan yang menguntungkan bagi serangga yang menguntungkan (musuh alami dari hama) (Rabik & Brown, 2004). Beberapa tanaman yang berpotensi digunakan sebagai tanaman pendamping adalah kacang hijau (*Vigna radiata*) (Lu et al., 2009), bunga matahari (*Helianthus* spp.) (Shelton & Badenes-Perez, 2006; Holden et al., 2012), Kubis Cina (*Brassica oleracea*), marigold (*Asteraceae*), dan lobak (*Brassicaceae*).

d. Manajemen Air yang Optimal

Dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah, sumber daya air yang ada digunakan secara efisien, contohnya sistem yang melibatkan kombinasi kolam ikan dan ladang tanaman. Dalam sistem ini, kelebihan air dari lahan dialirkan ke tambak untuk memfasilitasi akuakultur. Pendekatan ini berfungsi untuk mengurangi genangan air dan meminimalkan limpasan. Metode ini memaksimalkan efisiensi pemanfaatan air, mengurangi kebutuhan irigasi, dan mendorong pelestarian air.

e. Penyerapan Karbon dan Mitigasi Perubahan Iklim

Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah mendorong mitigasi perubahan iklim dan penyerapan karbon. Hal ini dilakukan melalui peningkatan penyimpanan karbon, baik pada

vegetasi maupun tanah. Integrasi pohon dan tanaman tahunan ke dalam sistem pertanian terbukti efektif menyerap dan menahan karbon sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, tutupan vegetasi yang bervariasi di dalam pertanian terpadu berfungsi sebagai penghalang pelindung terhadap kejadian cuaca buruk, mengurangi degradasi tanah, dan menambah kapasitas sistem untuk menahan dampak perubahan iklim (Bell et al., 2014; Meera et al., 2019; Kumara et al., 2023).

- f. Meningkatkan Ketahanan dan Mengurangi Risiko
Penggabungan berbagai konstituen dalam kerangka Pertanian Terpadu tanpa Limbah menambah kapasitas sistem untuk menahan kesulitan yang berasal dari faktor ekologi dan keuangan. Praktik diversifikasi tanaman dan ternak dapat berfungsi sebagai tindakan perlindungan terhadap dampak variabilitas iklim, hama, dan fluktuasi pasar. Jika terjadi dampak pada satu komponen, komponen lainnya mungkin menunjukkan perilaku kompensasi sehingga mengurangi kerentanan sistem secara keseluruhan. Atribut ketangguhan yang ditunjukkan oleh petani memungkinkan mereka menyesuaikan diri secara efektif dengan kondisi lingkungan yang dinamis sehingga mengurangi kemungkinan gagal panen.

Perspektif ekologis Pertanian Terpadu tanpa Limbah mengutamakan integrasi berbagai komponen untuk memaksimalkan interaksi ekologis, melestarikan sumber daya alam, dan menambah keanekaragaman hayati. Melalui penerapan praktik Pertanian Terpadu tanpa Limbah, petani memiliki kemampuan untuk memajukan praktik pertanian berkelanjutan sambil secara bersamaan menjaga vitalitas dan kemanjuran agroekosistem.

2. Dimensi Ekonomi

Aspek ekonomi dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah berpusat pada keuntungan finansial dan kemungkinan peningkatan keberlanjutan ekonomi bagi produsen pertanian. Potensi dari implementasi sistem ini adalah untuk bisa meningkatkan keberlanjutan ekonomi dari

operasional pertanian melalui berbagai mekanisme. Secara ekonomi, terdapat potensi manfaat yang dapat timbul dari implementasi sistem ini.

- a. Diversifikasi Hasil Pertanian untuk Mengurangi Risiko
Integrasi berbagai komponen, seperti tanaman, ternak, dan akuakultur merupakan strategi yang digunakan dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah untuk mendorong diversifikasi. Praktik diversifikasi memerlukan pengurangan ketergantungan pada sistem tanaman monokultur sehingga menghilangkan risiko kerugian yang terkait dengan ketidakstabilan pasar, fluktuasi iklim, dan prevalensi hama atau penyakit. Pada sistem diversifikasi, terjadi aliran pendapatan melalui berbagai komponen yang berpotensi meningkatkan stabilitas dan ketahanan petani.

Dalam hal pengurangan risiko, sistem ini dapat memberikan peluang untuk penambahan nilai dan diversifikasi produk. Misalnya, petani yang mempraktikkan Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat menghasilkan produk pertanian dengan label organik, produk unggulan (*speciality grade product*), seperti biji kopi dengan sistem mikronano lot (terbatas), padi premium, dan juga kakao premium dengan varietas tunggal. Diversifikasi ini dapat menghasilkan produk bernilai lebih tinggi dan akses ke pasar premium yang menghasilkan peningkatan profitabilitas dan pendapatan bagi petani.

Penelitian dari Fitriyah & Hariyati (2020) yang dilakukan di Desa Suruh Kabupaten Trenggalek, yang merupakan salah satu wilayah strategis produksi kakao di Jawa Timur, menunjukkan bahwa penerapan pertanian terintegrasi antara kakao dan peternakan kambing berpotensi untuk meningkatkan pendapatan sebesar 9% dibandingkan dengan sistem konvensional, yang mana harga produk yang lebih tinggi juga memiliki peran dalam hal ini. Sejalan dengan hal tersebut, Grimm et al. (2023), menyatakan bahwa konsumen di Indonesia memiliki keinginan untuk membayar (*willingness to pay*) yang cukup tinggi mencapai 20% untuk produk yang berlabel “organik” dan “ramah lingkungan”.

- b. Peningkatan Produktivitas dan Efisiensi dari Sisi Pengelolaan dan Biaya

Integrasi yang terjadi dalam sistem ini mendorong pada peningkatan produktivitas dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya. Integrasi antara tanaman dan ternak memberikan peluang untuk siklus hara yang efektif. Dalam hal ini, kotoran hewan dapat berfungsi sebagai sumber pupuk untuk tanaman sehingga mengurangi ketergantungan pada *input* eksternal. Proses integrasi ini meningkatkan pemanfaatan sumber daya, meningkatkan efisiensi operasional, dan mengurangi biaya produksi.

Efisiensi biaya juga dapat timbul karena adanya praktik, seperti pengelolaan hama terpadu, pertanian organik, dan pengelolaan air yang efisien (praktik dimensi ekologi). Hal ini berpotensi menghasilkan penghematan biaya bagi petani. Petani dapat meningkatkan profitabilitas mereka dengan mengurangi biaya produksi lewat *input* bahan kimia yang minimal, mengoptimalkan penggunaan air, dan mengurangi pembelian nutrisi eksternal.

- c. Berkelanjutan dan Peluang Penghidupan yang Lebih Baik

Keuntungan menerapkan Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah tidak terbatas pada keuntungan finansial langsung, tetapi lebih pada manfaat ekonomi jangka panjang. Implementasi praktik berkelanjutan dapat meningkatkan kelayakan pengelolaan petani yang bertahan lama. Dengan mengintegrasikan berbagai komponen, petani yang mempraktikkan Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat menghasilkan pendapatan dari berbagai sumber. Ini termasuk pendapatan dari penjualan tanaman, ternak, ikan, dan produk bernilai tambah. Berbagai aliran pendapatan mengurangi ketergantungan pada satu sumber dan memberi petani potensi peningkatan pendapatan dan stabilitas keuangan.

Selain itu, implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah juga berpotensi untuk menciptakan lapangan kerja, khususnya di daerah pedesaan. Penggabungan berbagai konstituen sering kali membutuhkan tenaga kerja tambahan sehingga menciptakan

kesempatan kerja bagi masyarakat regional. Penggabungan ternak ke dalam sistem pertanian memiliki potensi untuk menghasilkan peluang kerja bagi individu yang terlibat dalam pemeliharaan ternak. Selain itu, penerapan fasilitas pemrosesan bernilai tambah dapat mengarah pada penciptaan lapangan kerja dalam sektor pemrosesan dan pemasaran makanan.

Perspektif ekonomi dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah menggarisbawahi potensi peningkatan kelayakan finansial dan ketahanan ekonomi bagi petani. Melalui penerapan praktik berkelanjutan, petani yang mempraktikkan Pertanian Terpadu tanpa Limbah memiliki potensi untuk meningkatkan keadaan ekonomi mereka sendiri sekaligus mempromosikan kemajuan dan kemakmuran industri pertanian.

3. Dimensi Sosial (*Equity*)

Pada perspektif dimensi sosial, Pertanian Terpadu tanpa Limbah berpusat pada pengujian keuntungan sosial dan implikasi kesetaraan yang muncul dari penerapan metodologi pertanian khusus ini. Implementasi pendekatan ini berpotensi untuk memitigasi isu-isu terkait sosial dan kesetaraan dalam sektor pertanian dan masyarakat pedesaan. Terdapat beberapa elemen penting dalam integrasi antara dimensi sosial dan juga penerapan dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah.

- a. Peningkatan Penghidupan dan Pemberdayaan pada Masyarakat Pertanian Terpadu tanpa Limbah dari perspektif sosial atau ekuitas berkontribusi terhadap peningkatan penghidupan petani, khususnya petani kecil dan masyarakat marginal. Dengan mendiversifikasi sumber pendapatan dan mengintegrasikan berbagai komponen, seperti tanaman, ternak, dan akuakultur, Pertanian Terpadu tanpa Limbah memberikan peluang untuk menghasilkan pendapatan tambahan.

Selain itu, pemberdayaan masyarakat dari implementasi sistem ini dapat dicapai melalui keterlibatan petani dalam proses pengambilan keputusan dan mendorong pertukaran pengetahuan

dan kolaborasi. Petani yang mempraktikkan Pertanian Terpadu tanpa Limbah cenderung mempunyai rasa kepemilikan yang tinggi atas proses pertanian mereka lakukan karena berpotensi memberikan peningkatan pendapatan dan mengurangi risiko gagal panen yang lebih besar (Bhagat et al., 2024; Akter et al., 2025; Mihrete & Mihretu, 2025).

b. Ketahanan Pangan dan Nutrisi

Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah berpotensi untuk meningkatkan ketahanan pangan dengan memfasilitasi budidaya tanaman dan hewan yang memiliki nilai gizi yang tinggi. Penggabungan tanaman, ternak, dan akuakultur memiliki potensi untuk menghasilkan beragam makanan sehingga asupan makanan yang bervariasi untuk rumah tangga petani dapat terjamin. Implementasi ini dapat mendorong pada terciptanya sumber daya pangan yang kaya nutrisi sehingga dapat meningkatkan kondisi kesehatan di daerah-daerah terpencil atau tertinggal.

Dalam konteks ketahanan pangan, sistem ini mendorong pada pengelolaan sumber daya berkelanjutan, termasuk konservasi tanah, pengelolaan air, dan peningkatan keanekaragaman hayati. Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat berkontribusi pada pelestarian sumber daya alam untuk generasi mendatang dan tetap untuk memberikan stok pangan dan juga nutrisi untuk kesejahteraan masyarakat, khususnya di wilayah pedesaan (Khobragade et al., 2022). Pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan ini dapat berkontribusi pada keadilan sosial dengan menjamin akses yang adil terhadap sumber daya dan mengurangi degradasi lingkungan yang dapat memengaruhi masyarakat yang terpinggirkan secara tidak proporsional.

c. Peningkatan Kapasitas Petani dan Mendorong Akses Pasar yang Inklusif

Pertanian Terpadu tanpa Limbah berpotensi untuk bisa mengembangkan kapasitas petani, dalam artian petani berusaha untuk terus meningkatkan keterampilan dan pengetahuan terkait sistem pertanian yang beragam. Hal ini menciptakan

peluang untuk program pelatihan, lokakarya, dan pertukaran pengetahuan dari petani kepada petani lainnya sehingga dapat memperkuat jaringan sosial, menumbuhkan komunitas belajar, dan meningkatkan basis pengetahuan pertanian masyarakat secara keseluruhan.

Implementasi sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah juga berperan dalam menciptakan akses pasar yang inklusif. Peningkatan kapasitas diri petani akan memungkinkan petani menghasilkan produk pertanian yang bernilai tambah. Petani dapat mengakses pasar yang bernilai lebih tinggi dan mendapatkan bagian rantai nilai yang lebih besar. Hal ini dapat berkontribusi pada pemerataan peluang ekonomi dan mengurangi ketergantungan petani pada tengkulak.

d. Meningkatkan Inklusivitas Gender

Kesetaraan dan emansipasi gender juga merupakan bagian dari dampak Pertanian Terpadu tanpa Limbah dengan mengakui dan menghargai kontribusi perempuan di bidang pertanian. Berbagai aspek Pertanian Terpadu tanpa Limbah, seperti pengelolaan tanaman hortikultura, peternakan kecil, serta pemurnian dan pemasaran produk bernilai tambah, sering kali didominasi oleh perempuan. Mempromosikan kesetaraan gender dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat meningkatkan peluang pendapatan perempuan pedesaan, otoritas pengambilan keputusan, dan kesejahteraan secara keseluruhan.

Perspektif sosial atau kesetaraan dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah berkontribusi untuk mengurangi ketidaksetaraan sosial, memberdayakan kelompok yang terpinggirkan, dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat pedesaan secara keseluruhan dengan memasukkan pertimbangan keadilan sosial.

B. Manfaat Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah

1. Manfaat bagi Pemerintah

Mewujudkan pertanian berkelanjutan menjadi agenda strategis di hampir semua negara agraris di dunia, yang selaras dengan kerangka *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang memuat 17 tujuan dan diharapkan dapat tercapai pada tahun 2030. Pertanian berkelanjutan ini memiliki kontribusi untuk mencapai setidaknya 2 dari 17 tujuan yang ada, yaitu tujuan ke-2 *zero hunger* dan tujuan ke-12 *responsible consumption and production*. Indonesia juga menjadi bagian dari negara dunia yang berusaha untuk mewujudkan hal ini, yang mana penerapan Pertanian Terpadu tanpa Limbah menjadi strategi yang diusung dalam prosesnya. Selain keberlanjutan, manfaat lain dari model sistem ini adalah sebagai berikut.

a. Mendorong Ketahanan dan Kemandirian Pangan

Penerapan Pertanian Terpadu tanpa Limbah berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan pangan melalui adanya diversifikasi produk melalui pemanfaatan sumber daya yang efisien. Dengan mengintegrasikan komponen-komponen pertanian, sistem ini mampu menyediakan pasokan pangan yang lebih beragam dan bergizi. Mulono et al., (2023) menemukan bahwa implementasi sistem ini di wilayah yang kering menunjukkan adanya peningkatan pendapatan, produktivitas, dan mendorong ketahanan pangan serta memenuhi kebutuhan gizi masyarakat. Contoh lain dari Listyowati et al. (2024) menunjukkan bahwa integrasi antara akuakultur dan pertanian sayuran mampu meningkatkan produktivitas makronutrien yang berpengaruh terhadap kualitas diet, yang mana ini akan sangat konsisten dengan tujuan untuk memenuhi ketahanan pangan lokal. Selain itu, tindakan tersebut mengurangi ketergantungan pada sumber eksternal dan meningkatkan kemampuan suatu wilayah untuk memenuhi kebutuhan pangan penduduknya

sehingga mengurangi kemungkinan kelangkaan pangan karena adanya fluktuasi harga.

- b. Mewujudkan Praktik Pertanian Berkelanjutan
Pertanian Terpadu tanpa Limbah mengadvokasi penerapan praktik pengelolaan sumber daya berkelanjutan dan pelestarian sumber daya alam, yang sesuai dengan tujuan pemerintah untuk perlindungan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan. Sistem ini juga berdampak pada manajemen penggunaan air yang lebih efisien dengan memanfaatkan mekanisme daur ulang limbah bagi tanaman (Prasetyo et al., 2021) dan juga integrasi komponen dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah (pada komponen agroforestri) terbukti mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki struktur tanah, mengurangi erosi, dan meningkatkan penyimpanan karbon (Pakaya et al., 2025). Penggunaan air yang bertanggung jawab dan efisien serta konservasi tanah yang juga dilakukan dalam prosesnya akan mendorong pada pertanian yang lebih berkelanjutan. Tidak hanya yang fokus terhadap keberlanjutan lingkungan, tetapi juga pada aspek lain yang meliputi ekonomi (dari adanya diversifikasi produk yang mendorong pada diversifikasi pendapatan), dan sosial (meningkatkan partisipasi masyarakat dan pola kolaborasi petani untuk mencapai hasil yang lebih baik).
- c. Pembangunan Desa dan Pengentasan Kemiskinan
Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah berpotensi signifikan terhadap pembangunan pedesaan dan pengurangan kemiskinan melalui penguatan basis ekonomi di wilayah pedesaan. Integrasi komponen produksi ini dapat mendorong pada diversifikasi pendapatan (akan dibahas pada subbab selanjutnya) yang juga meningkatkan nilai tambah hasil produksi (Sanchez et al., 2022). Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah ini juga dapat membuka dan menyerap tenaga kerja secara lebih optimal yang pada akhirnya dapat mengurasi preferensi masyarakat desa untuk melakukan migrasi dari desa ke kota dan memperkuat pembangunan wilayah tersebut (Suwardike & Prabawa, 2024).

Pada akhirnya, secara tidak langsung dan bertahap, implementasi sistem ini akan berkontribusi terhadap tujuan pemerintah dalam pemerataan ekonomi dan pengentasan kemiskinan di Indonesia.

Potensi implementasi dan adopsi dari praktik Pertanian Terpadu tanpa Limbah sangat besar di Indonesia. Sebagai contoh, sistem integrasi mina padi yang mana di Indonesia dari total 14 juta hektare lahan padi, masih sekitar kurang dari 1% saja yang menerapkan sistem mina padi, sedangkan manfaat yang diberikan sistem ini sangat besar, baik untuk lingkungan maupun ekonomi (Ambari, 2019).

Saat ini, pemerintah melalui kebijakan-kebijakan yang ada berusaha untuk mendorong penerapan Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Untuk mendukung hal ini, pemerintah mulai memberikan bantuan keuangan melalui KUR, subsidi pupuk, membuka peluang untuk investasi, serta memberikan ruang yang luas untuk penelitian dan pengembangan dalam penyusunan kerangka kerja implementasi sistem yang dapat mendorong pertanian terintegrasi dan berkelanjutan. Harapannya adalah pemerintah mampu mendorong dan menciptakan lingkungan yang memungkinkan bagi petani untuk mengadopsi dan mendapatkan manfaat dari praktik Pertanian Terpadu tanpa Limbah, seperti praktik mina padi yang memberikan manfaat berupa peningkatan pendapatan pada petani di Kabupaten Lamongan, Jawa Timur (Nurhidayati et al., 2020) dan di Kabupaten Sleman (Syaukat & Julistia, 2019). Selain itu, peluang implementasi praktik integrasi pertanian antara ternak dan kelapa sawit yang dilakukan di Kalimantan Selatan berpotensi meningkatkan produktivitas ternak sehingga dapat memenuhi kebutuhan daging ternak di wilayah Kalimantan Selatan (Qomariah et al., 2023). Pada akhirnya, implementasi dan adopsi praktik ini dapat berkontribusi pada keseluruhan pembangunan dan keberlanjutan sektor pertanian seiring dengan tercapainya tujuan nasional yang lebih luas.

2. Manfaat bagi Petani

Petani sebagai pelaku utama dari implementasi konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah juga mendapatkan manfaat secara multidimensi,

baik secara ekologi, ekonomi, maupun sosial. Dari sisi ekologi, penerapan Pertanian Terpadu tanpa Limbah memungkinkan untuk mewujudkan konsep *zero waste* dengan adanya pemanfaatan limbah yang optimal sebagai sumber daya pertanian. Selain itu, secara ekologis, sistem ini menjadi solusi strategis di tengah polemik pembukaan hutan (deforestasi) akibat kebijakan ekstensifikasi pertanian yang masif. Tantangan ini kian relevan menanggapi arahan kebijakan nasional terkait perluasan lahan perkebunan (seperti komoditas kelapa sawit) untuk swasembada, yang jika tidak dikelola dengan hati-hati, berisiko mempercepat laju deforestasi.

Dalam konteksnya, Pertanian Terpadu tanpa Limbah hadir sebagai jalan tengah yang menawarkan peningkatan produktivitas tanpa harus mengorbankan fungsi hutan secara signifikan. Salah satu contohnya adalah potensi penerapan Sistem Integrasi Sapi Kelapa Sawit (SISKA) di Kalimantan Timur (Rifandi, 2025). Pada konteks dimensi ekonomi, petani berpeluang untuk mendapatkan tambahan pendapatan dari peningkatan nilai hasil produksi pertanian dan diversifikasi produknya (Marita et al., 2021). Sementara itu, dari sisi sosial, dapat mendorong pada ketahanan pangan lokal dan mendorong adanya kerja sama sosial atau pertukaran pengetahuan antar petani yang bermanfaat untuk memperkuat posisi petani sebagai tonggak utama keberlanjutan pertanian di Indonesia. Berikut merupakan beberapa manfaat lain yang dapat diterima oleh petani yang mengimplementasikan Pertanian Terpadu tanpa Limbah.

a. Diversifikasi Pendapatan

Penerapan Pertanian Terpadu tanpa Limbah memberikan peluang bagi petani untuk mendiversifikasi sumber pendapatannya melalui integrasi komponen produksi yang dimiliki. Integrasi ini mengurangi adanya ketergantungan petani terhadap suatu komoditas tertentu, dan secara signifikan mampu menurunkan risiko fluktuasi pendapatan yang disebabkan oleh harga pasar yang tidak stabil, serangan hama, perubahan iklim, dan lainnya. Sejalan dengan hal tersebut, Sanchez et al. (2022) menjelaskan bahwa diversifikasi pertanian secara konsisten dapat berkontribusi

terhadap profitabilitas yang tinggi dan menurunkan risiko ekonomi dibandingkan dengan sistem pertanian konvensional. Di Indonesia, integrasi sistem pertanian padi-ikan dan padi-bebek-ikan menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan pendapatan dari petani (Suproni & Suheimi, 2023; Nurhidayati et al., 2020). Di Bangladesh, integrasi antara akuakultur dan agrikultur meningkatkan kesejahteraan dan pendapatan rumah tangga petani secara bertahap karena adanya hasil yang diperoleh dari kolam dan sawah (Al Mamun et al., 2011).

- b. Peningkatan Produktivitas dan Efisiensi Sumber Daya
Produktivitas dapat ditingkatkan dengan implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah dengan mengintegrasikan berbagai praktik dan komponen pertanian. Sebagai contoh, dengan mengintegrasikan usaha pertanian dan peternakan, dapat berpotensi dan memfasilitasi terciptanya mekanisme siklus hara yang lebih efisien dan ramah lingkungan karena kotoran hewan dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk produksi tanaman, yang mana dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia (Domínguez-Hernández et al., 2025). Hal ini menghasilkan hasil panen yang lebih baik, kesuburan tanah yang lebih baik, dan produktivitas keseluruhan yang lebih baik, yang memungkinkan petani kecil memanfaatkan tanah dan sumber daya mereka sebaik-baiknya (Dos Reis et al., 2021; Moreira et al., 2023).

Pertanian Terpadu tanpa Limbah mendorong penggunaan sumber daya yang efektif, seperti tanah, air, dan nutrisi tanah (seperti nitrogen, kalium, fosfor, magnesium, dan lainnya). Petani dapat memaksimalkan penggunaan sumber daya yang tersedia dengan terlibat dalam strategi pertanian, seperti tumpang sari, rotasi tanaman, dan agroforestri yang membuat petani menjadi mampu mengoptimalkan sumber daya yang digunakan. Pendekatan ini juga mengurangi ketergantungan dari *input* eksternal, seperti pupuk dan pestisida kimia yang tergolong mahal dan tidak ramah lingkungan (Wiyono et al., 2025). Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Kabupaten

Tuban menunjukkan adanya peningkatan produktivitas ternak petani yang mencapai 30%, yang mana ini juga berdampak pada semakin tingginya keinginan adopsi dan penerapan dari praktik Pertanian Terpadu tanpa Limbah di kalangan petani yang mencapai 70% (Saribanon et al., 2024). Hal serupa juga ditunjukkan di Kabupaten Sigi, yang mana 60% petani mulai menggunakan limbah peternakan sebagai pupuk organik pada lahan pertaniannya (mendorong sistem lingkaran yang tertutup) (Hamzens, 2011).

c. Konservasi Lingkungan dan Mitigasi Risiko

Integrasi berbagai komponen dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah mengurangi kerentanan petani kecil terhadap berbagai risiko. Diversifikasi tanaman membantu mengurangi dampak gagal panen, wabah hama, atau guncangan pasar. Selain itu, sistem ini juga berkontribusi pada kesehatan dan konservasi tanah. Dengan menggabungkan bahan organik melalui integrasi sisa ternak (kotoran ternak dan tanaman), petani dapat meningkatkan kesuburan dan struktur tanah. Selain itu, praktik-praktik, seperti agroforestri dan pertanian kontur membantu mencegah erosi tanah dan menjaga kelembapan tanah. Tanah yang sehat mendukung produktivitas yang berkelanjutan dan mengurangi kebutuhan *input* eksternal yang mahal (ICRAF, 2002; Kaur et al., 2023; Pakaya et al., 2025). Selain itu, praktik agroforestri juga berkontribusi terhadap ketahanan petani menghadapi perubahan iklim. Dengan adanya integrasi berbagai komponen dalam sistem pertanian dan peternakan, hal ini dapat meningkatkan ketahanan sistem pertanian terhadap terjadinya cuaca ekstrem, seperti kekeringan atau banjir.

BAB IV

IMPLEMENTASI PERTANIAN TERPADU TANPA LIMBAH

Kegiatan pertanian sering kali menghasilkan limbah yang cukup besar, yang pada gilirannya berkontribusi pada degradasi tanah, kontaminasi air, dan emisi gas rumah kaca. Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO) memperkirakan bahwa hampir sepertiga dari semua makanan yang diproduksi untuk konsumsi manusia terbuang sia-sia, yaitu sekitar 1,3 miliar ton per tahun (FAO, 2021). Pemborosan ini tidak hanya mengakibatkan menipisnya sumber daya, tetapi juga menimbulkan beban bagi lingkungan yang berkontribusi terhadap percepatan perubahan iklim dan membahayakan keamanan pasokan makanan. Banyak masalah lingkungan, termasuk kerusakan tanah, polusi air, dan hilangnya keanekaragaman hayati, yang diakibatkan oleh paradigma pertanian saat ini, yang dicirikan oleh sistem monokultur, *input* bahan kimia yang berlebihan, dan pemanfaatan sumber daya yang buruk (seperti penggunaan air yang tidak efisien dan penebangan liar).

Melalui advokasi pendekatan holistik pertanian dengan mengurangi limbah dan memaksimalkan efisiensi sumber daya, Pertanian Terpadu tanpa Limbah memberikan alternatif yang menarik bagi perbaikan metode pertanian konvensional. Pertanian Terpadu tanpa Limbah berusaha untuk membangun siklus *loop* tertutup dengan mengintegrasikan beberapa komponen sistem pertanian. Siklus ini mengambil *output* dari satu proses dan menggunakannya sebagai *input*

untuk proses lainnya. Hal ini mengurangi ketergantungan pada *input* eksternal dan meminimalkan dampak terhadap lingkungan.

Salah satu perubahan paradigma prospektif yang dapat mengarah pada sistem pangan yang lebih berkelanjutan dan tangguh adalah penerapan sistem pertanian terpadu yang menghasilkan nir limbah. Melalui pengurangan limbah, peningkatan efisiensi sumber daya, dan promosi keanekaragaman hayati, Pertanian Terpadu tanpa Limbah memiliki potensi untuk memberikan kontribusi pada pengelolaan yang efektif terhadap masalah lingkungan dan sosial yang mendesak di zaman kita. Pertanian Terpadu tanpa Limbah memiliki potensi untuk merevolusi cara kita memproduksi makanan dan melindungi planet kita untuk kepentingan generasi mendatang jika upaya penelitian, pengembangan, dan penerapannya dipertahankan.

A. Komponen dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah

Pertanian telah menjadi komponen kehidupan yang penting sejak awal peradaban manusia sehingga dapat dikatakan sebagai tulang punggung peradaban manusia. Hasil dari pertanian menjadi salah satu sumber pasokan makanan dan serat untuk memenuhi kebutuhan hidup. Seiring berjalannya waktu, praktik pertanian konvensional berubah menjadi praktik yang lebih modern dengan mengedepankan hasil yang akan diperoleh karena dorongan kuat adanya peningkatan kebutuhan akan produk pertanian oleh manusia. Namun, semakin intensif sistem pertanian modern ini, menyebabkan beberapa masalah lingkungan, termasuk degradasi tanah, hilangnya keanekaragaman hayati, kontaminasi air, dan ketergantungan yang berlebihan pada *input* kimia.

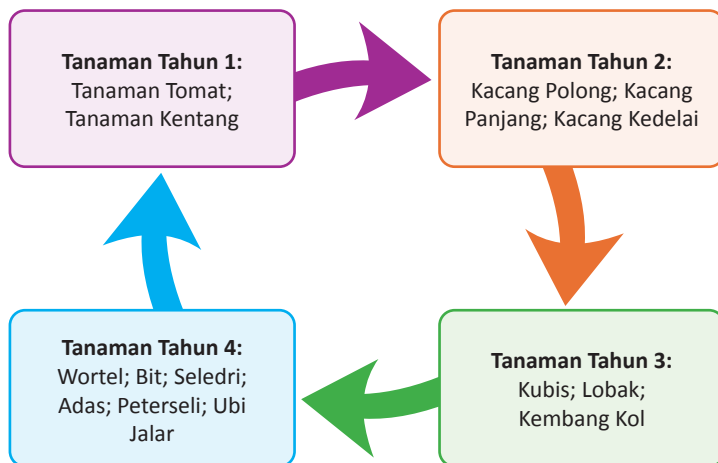
Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dalam mengatasi hal ini, pendekatan Pertanian Terpadu tanpa Limbah menjadi alternatif solusi yang menawarkan adanya keterpaduan dan keberlanjutan antar unsur, dengan tujuan meminimalisasi dampak negatif yang ditimbulkan oleh pertanian konvensional. Alasannya,

sistem ini mengubah limbah menjadi bahan baku pendukung sistem pertanian yang optimal.

Berdasarkan pada konteks kondisi pertanian yang ada di Indonesia, setidaknya terdapat lima komponen dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang memiliki peluang tinggi dalam mendukung ketahanan pangan dan ekonomi, serta saling memperkuat keberlanjutan, antara lain (1) rotasi tanaman dengan tujuan memutus siklus hama dan penyakit, (2) agroforestri untuk menambah biomassa yang berbasis pohon dan naungan serta mendukung keanekaragaman hayati, (3) integrasi ternak sebagai sistem pendaur ulang limbah dan penyediaan energi alternatif, (4) akuakultur yang mendukung siklus daur air dan nutrisi, serta (5) vermikomposting yang mengoptimalkan nutrisi dan kesuburan tanah.

1. Rotasi Tanaman

Salah satu aspek terpenting dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah adalah rotasi tanaman, yang merupakan metode yang secara konsisten mengubah jenis tanaman yang dibudidayakan di suatu wilayah tertentu dari waktu ke waktu. Pada rotasi tanaman, tanaman yang berbeda ditanam secara berurutan di sebidang tanah yang sama. Praktik ini membantu memutus siklus hama dan penyakit, meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi tekanan gulma, dan meningkatkan kesehatan tanaman secara keseluruhan. Sistem rotasi tanaman telah menunjukkan manfaat yang signifikan dalam hal peningkatan hasil panen, pengurangan *input* bahan kimia, dan peningkatan kualitas tanah. Komponen tanaman dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah melibatkan integrasi beberapa tanaman dalam urutan yang terencana dengan baik atau pengaturan tumpang sari. Tidak seperti sistem monokultur konvensional, yang mana satu tanaman dibudidayakan di area yang luas, Pertanian Terpadu tanpa Limbah mempromosikan keanekaragaman dan koeksistensi dari beberapa tanaman.



Keterangan: Rotasi tanaman yang berbeda- beda antar tahun, di Tahun 1: tomat dan kentang; Tahun 2: kacang polong, kacang panjang, dan kacang kedelai; Tahun 3: kubis, lobak, kembang kol; Tahun 4: wortel, bit, seledri, dan ubi jalar.

Gambar 4.1 Contoh Praktik Rotasi Tanaman

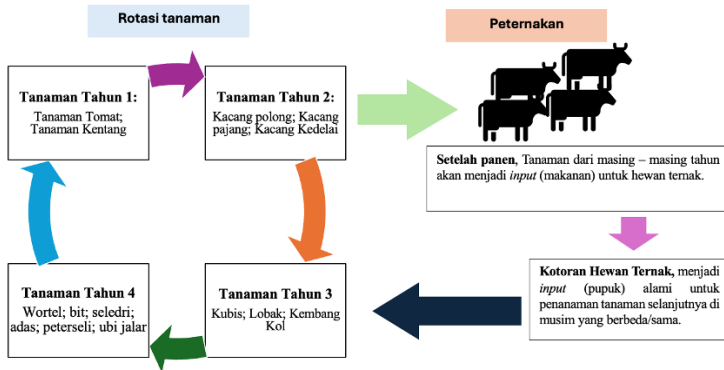
Rotasi tanaman termasuk praktik yang telah diimplementasikan sejak ribuan tahun yang lalu. Adapun contoh praktik rotasi tanaman dapat dilihat pada Gambar 4.1. Secara historis, para petani menyadari manfaat dari menanam tanaman yang berbeda secara berurutan daripada menanam satu jenis tanaman saja, yang menyebabkan penanaman spesies tanaman yang sama secara terus-menerus dari tahun ke tahun. Praktik rotasi tanaman sangat umum dilakukan dalam sistem pertanian praindustri, seperti di Romawi Kuno dan Eropa abad pertengahan. Pada masa itu, rotasi tanaman digunakan untuk menjaga kesuburan tanah, mengendalikan hama, dan meningkatkan hasil panen tanpa menggunakan pupuk atau pestisida sintetis.

Prinsip dasar di balik rotasi tanaman adalah bahwa tanaman yang berbeda memiliki kebutuhan hara dan interaksi biologis yang berbeda dengan tanah dan lingkungan. Beberapa tanaman menguras unsur hara tertentu dari tanah, sementara tanaman lainnya mengisi kembali unsur hara yang sama. Sebagai contoh, tanaman polong-polongan,

seperti kacang-kacangan dan kacang polong mengikat nitrogen di dalam tanah melalui hubungan simbiosis dengan bakteri pengikat nitrogen sehingga meningkatkan kesuburan tanah untuk tanaman berikutnya.

Dalam sistem rotasi tanaman, jenis tanaman yang ditanam setiap musim akan berbeda tergantung pada tingkat kebutuhan nutrisi dan sensitivitas hama pada musim tersebut. Pergantian ini mampu mempertahankan struktur dan aktivitas mikroba tanah untuk meningkatkan kesuburan secara alami dan juga mengganggu siklus hama dan penyakit (Jalli et al., 2021; Malik et al., 2024). Hal ini sangat kontras dengan sistem monokultur. Penanaman spesies yang sama secara terus-menerus pada sistem monokultur akan memperparah penipisan unsur hara tanah dan mendorong penumpukan hama dan penyakit yang spesifik untuk tanaman tertentu. Pertanian Terpadu tanpa Limbah adalah metode yang mencakup semua metode untuk mencapai pertanian berkelanjutan. Tujuan utamanya adalah untuk optimalisasi sumber daya yang ada. Dalam kerangka kerja ini, rotasi tanaman memainkan peran penting dalam pencapaian tujuan-tujuan ini dengan mendukung terjadinya siklus nutrisi yang alami, menurunkan jumlah *input* yang berasal dari sumber luar (sebagai contohnya adalah *input* pestisida dan pupuk untuk mengendalikan hama dan penyakit), dan meningkatkan jumlah keanekaragaman hayati.

Dalam pengembangan Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah, melakukan kombinasi antar sistem merupakan hal yang memungkinkan. Sebagai contoh adalah dengan menggabungkan antara sistem rotasi tanaman dengan sistem peternakan, yang selanjutnya akan meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya. Gambar 4.2 merupakan gambaran yang dapat dibangun berdasarkan kombinasi tersebut.



Gambar 4.2 Gambaran Skenario Kombinasi Rotasi Tanaman dan Peternakan

Berdasarkan Gambar 4.2, sisa tanaman hasil panen pada tahun atau musim berjalan menjadi makanan untuk hewan ternak sehingga proses pengembalaan ternak menjadi lebih efisien dan akan membantu proses daur hara dari tanah, ditambah dengan hasil kotoran hewan ternak bisa menjadi pupuk yang membantu proses daur hara tanah sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah lebih cepat. Hal ini memungkinkan untuk menciptakan sistem lingkaran tertutup dengan mengembalikan kotoran yang dihasilkan oleh ternak ke tanah untuk digunakan sebagai pupuk alami. Selain itu, mengembalikan ternak pada tanaman penutup tanah dapat membantu mengendalikan gulma dan mengurangi kebutuhan akan herbisida sekaligus menyediakan bahan organik bagi tanah. Ini adalah situasi yang saling menguntungkan. Integrasi ini tidak hanya mengurangi limbah, tetapi juga meningkatkan produktivitas dan profitabilitas pertanian.

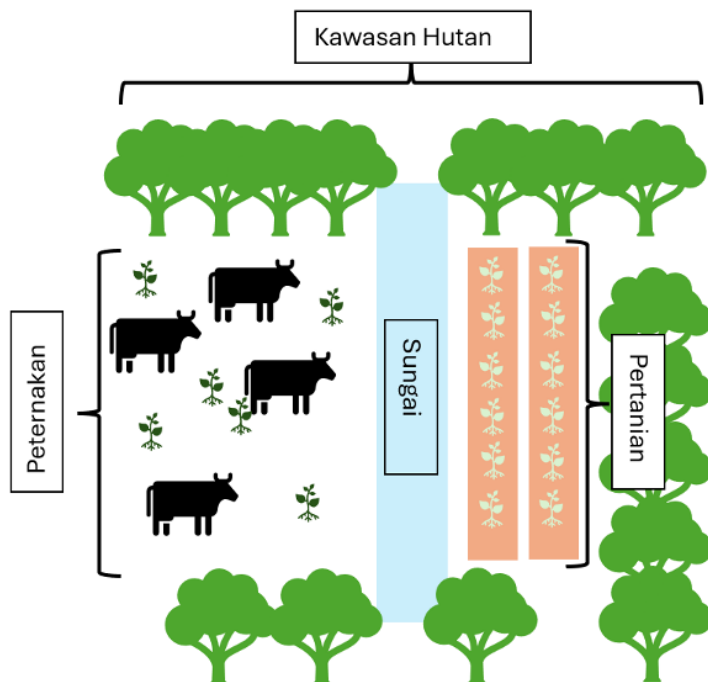
Dengan mendiversifikasi sistem produksi melalui rotasi tanaman dan penggabungan ternak, petani dapat mengurangi ketergantungan mereka pada *input* eksternal dan meningkatkan ketahanan pertanian secara keseluruhan. Rotasi tanaman juga memungkinkan diversifikasi produksi pertanian. Dalam kerangka kerja Pertanian Terpadu tanpa Limbah, keragaman tanaman dapat meningkatkan aliran pendapatan dengan menyediakan berbagai produk bagi petani, seperti sereal, kacang-kacangan, sayuran, dan buah-buahan, sambil menjaga

kesehatan tanah. Diversifikasi juga menyebarkan risiko ekonomi karena ketergantungan pada satu jenis tanaman dapat membuat pertanian lebih rentan terhadap fluktuasi pasar dan tantangan iklim.

Penggunaan rotasi tanaman dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah berkontribusi pada peningkatan keanekaragaman hayati, baik di atas maupun di bawah tanah. Dengan merotasi tanaman, petani mendukung lebih banyak variasi organisme tanah yang sangat penting untuk siklus hara, aerasi tanah, dan pengendalian hama. Di atas tanah, keanekaragaman tanaman yang lebih besar dapat menarik serangga, penyerbuk, dan satwa liar lainnya yang bermanfaat, meningkatkan layanan ekosistem seperti penyerbukan, pengendalian hama biologis, serta penyediaan habitat bagi satwa liar. Rotasi tanaman sangat sesuai dengan praktik pertanian berkelanjutan lainnya seperti agroforestri.

2. Agroforestri

Agroforestri atau wanatani semakin dikenal sebagai kegiatan yang penting dan berpikiran maju yang memiliki potensi untuk meningkatkan sistem pertanian secara signifikan. Hal ini karena dunia masih mencari solusi yang berkelanjutan untuk masalah-masalah pertanian dan lingkungan. Konsep keberlanjutan, keanekaragaman hayati, dan efisiensi sumber daya diwujudkan dalam praktik agroforestri, yang merupakan penggabungan pohon dan semak belukar yang disengaja ke dalam lanskap pertanian dengan menggunakan metode yang berkelanjutan. Dalam kerangka kerja yang lebih besar dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah, agroforestri memainkan peran sentral, berkontribusi pada pengurangan limbah, pemeliharaan keseimbangan ekologi, dan peningkatan hasil pertanian.



Keterangan: Sistem agroforestri yang mengombinasikan antara tempat untuk pertanian, hutan, dan peternakan.

Gambar 4.3 Contoh Ilustrasi Praktik Agroforestri antara Ternak Sapi dan Hutan

Agroforestri merupakan pilar dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah, yang menawarkan solusi inovatif untuk pertanian berkelanjutan yang menjawab tantangan yang saling terkait, yaitu degradasi lingkungan, kerentanan ekonomi, dan perubahan iklim. Dengan mengintegrasikan pepohonan dengan tanaman dan ternak (Gambar 4.3), agroforestri meningkatkan keanekaragaman hayati, meningkatkan kesehatan tanah, menyerap karbon, dan memberikan peluang pendapatan yang beragam bagi para petani. Komponen ini menawarkan banyak manfaat ekologis, ekonomi, dan sosial. Sebagai gambaran, pohon dapat memberikan keteduhan, penahan angin,

dan mendukung keanekaragaman hayati, sedangkan sistem akarnya menstabilkan tanah, mencegah erosi, dan meningkatkan infiltrasi air.

Komponen agroforestri dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah melibatkan integrasi pohon atau tanaman tahunan berkayu yang disengaja ke dalam sistem pertanian. Sistem agroforestri dapat bervariasi, dari penanaman lorong, yang mana pohon ditanam dalam barisan di antara tanaman hingga silvopastur, yakni pohon diintegrasikan ke dalam area penggembalaan ternak. Agroforestri meningkatkan interaksi ekologis antara komponen yang berbeda dan menghasilkan banyak manfaat. Penelitian dari Ginting (2025), menjelaskan bahwa sistem agroforestri sudah lama diimplementasikan di Indonesia, khususnya untuk perkebunan karet dan memberikan manfaat terhadap aspek agronomi dan sosial ekonomi. Selain itu, penelitian dari (T. S. Widyarningsih & Hani, 2012) menunjukkan bahwa sistem agroforestri yang ada di Taman Nasional Halimun Salak di Kampung Birang dan Kampung Merabu memengaruhi stok karbon yang ada sehingga agroforestri dikatakan memiliki potensi untuk *Forestry and Other Land Uses (FOLU) Net Sink 2030* di Indonesia dengan menyediakan hasil hutan nonkayu yang dapat mencegah adanya kebocoran dalam upaya konservasi hutan dan stok karbon.

Agroforestri bukanlah sebuah konsep baru. Konsep ini berakar dari praktik pertanian tradisional yang telah digunakan oleh masyarakat adat selama berabad-abad. Sistem agroforestri kuno telah ada dalam berbagai bentuk di seluruh dunia—dari sistem perladangan berpindah, salah satu contohnya adalah dari sistem agroforestri tanaman karet di Sumatera Utara (Rokhmah & Sobari, 2017). Sistem ini berkembang dengan prinsip meniru ekosistem alami, mengintegrasikan pepohonan, tanaman, dan ternak untuk menciptakan lanskap yang seimbang dan multifungsi.

Agroforestri sangat cocok dengan kerangka kerja Pertanian Terpadu tanpa Limbah karena beberapa alasan berikut.

a. Optimalisasi Sumber Daya Alam

Sistem agroforestri memanfaatkan ruang vertikal dengan mengintegrasikan pepohonan, tanaman, dan terkadang ternak.

Stratifikasi vertikal ini memungkinkan spesies yang berbeda untuk menempati ceruk ekologi yang berbeda, yang mengarah pada penggunaan cahaya, air, dan nutrisi tanah yang lebih efisien. Prinsip optimalisasi sumber daya ini selaras dengan fokus Pertanian Terpadu tanpa Limbah untuk meminimalkan limbah dan memaksimalkan produktivitas.

- b. Keanekaragaman Hayati dan Jasa Ekosistem
Dengan memasukkan pepohonan dan semak belukar ke dalam lanskap pertanian, agroforestri meningkatkan keanekaragaman hayati, baik di atas maupun di bawah tanah. Pohon-pohon menyediakan habitat bagi satwa liar, mempromosikan serangga yang bermanfaat, dan meningkatkan komunitas mikroba tanah. Keanekaragaman hayati ini mendukung ketahanan dan stabilitas sistem pertanian, yang merupakan prinsip utama Pertanian Terpadu tanpa Limbah.
- c. Siklus Unsur Hara dan Kesehatan Tanah
Pohon memainkan peran penting dalam siklus hara dengan menangkap unsur hara dari lapisan tanah yang lebih dalam dan mengembalikannya ke permukaan melalui serasah daun dan eksudat akar. Proses ini memperkaya tanah dan mengurangi kebutuhan pupuk sintetis, yang selanjutnya berkontribusi pada prinsip nol limbah Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Selain itu, akar pohon membantu menstabilkan tanah, mengurangi erosi, dan menjaga kesuburan tanah.
- d. Penyerapan Karbon dan Ketahanan Iklim
Salah satu kontribusi agroforestri yang paling signifikan dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah adalah potensinya untuk memitigasi perubahan iklim dengan menyerap karbon. Pohon bertindak sebagai penyerap karbon, menyerap karbon dioksida dari atmosfer dan menyimpannya dalam biomassa dan tanah. Dengan menggabungkan agroforestri, Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat berkontribusi pada upaya global untuk memerangi perubahan iklim sekaligus menciptakan sistem pertanian yang

lebih tangguh yang mampu bertahan dalam menghadapi peristiwa cuaca ekstrem.

e. Mata Pencaharian Terpadu

Sistem agroforestri mendiversifikasi produksi pertanian dengan menawarkan berbagai hasil-kayu, buah-buahan, kacang-kacangan, pakan ternak, dan hasil hutan bukan kayu (HHBK). Diversifikasi ekonomi ini memberikan mata pencaharian yang lebih stabil dan tangguh bagi petani serta mengurangi ketergantungan mereka pada satu jenis tanaman atau sumber pendapatan. Dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah, sistem produksi yang terdiversifikasi merupakan kunci untuk mengurangi risiko ekonomi dan meningkatkan keberlanjutan pertanian.

Sinerginya dengan Pertanian Terpadu tanpa Limbah terletak pada prinsip-prinsip meminimalisasi limbah, optimalisasi sumber daya, dan ketahanan ekologis. Agroforestri memastikan bahwa pertanian beroperasi sebagai sistem melingkar yang tertutup. Dalam arti, setiap sumber daya digunakan secara efisien, limbah diminimalkan, dan keberlanjutan diprioritaskan. Ketika sektor pertanian global menghadapi tekanan yang semakin besar untuk mengadopsi praktik-praktik yang lebih berkelanjutan, agroforestri menawarkan jalan yang jelas untuk mencapai masa depan yang bebas limbah dan regeneratif. Dengan memasukkan agroforestri ke dalam sistem pertanian, petani dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, meningkatkan keberlanjutan, dan berkontribusi pada fungsi ekologi tingkat lanskap.

Dalam sistem agroforestri, pohon dan semak belukar diintegrasikan dengan tanaman dengan cara yang meniru ekosistem alami, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan memberikan manfaat tambahan, seperti keteduhan, perlindungan dari angin, dan *input* bahan organik dari serasah daun. Dengan memasukkan agroforestri ke dalam rencana rotasi tanaman, petani dapat meningkatkan keberlanjutan sistem mereka sambil menyediakan sumber pendapatan tambahan, seperti buah-buahan, kacang-kacangan, atau kayu. Pendekatan agroforestri menawarkan beberapa manfaat, baik secara

agronomis maupun ekologis, yang berkontribusi pada keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan. Dengan menerapkan praktik agroforestri yang mengutamakan keragaman tanaman, petani dapat membangun sistem pertanian yang berkelanjutan dan tangguh yang berkontribusi pada ketahanan pangan dan kelestarian lingkungan.

3. Integrasi Peternakan

Seiring dengan sistem pertanian yang beradaptasi dengan kebutuhan konsumen yang semakin meningkat, pendekatan holistik yang mengintegrasikan tanaman pangan, ternak, dan kegiatan pertanian lainnya mulai menjadi satu isu yang menarik perhatian. Salah satu strategi yang paling inovatif dan efisien dalam bidang ini adalah integrasi ternak. Pertanian Terpadu tanpa Limbah memerlukan integrasi ternak, seperti unggas, sapi, babi, atau domba ke dalam sistem pertanian. Peternakan memainkan peran penting dalam sistem dengan memberikan banyak manfaat terhadap lingkungan dan ekonomi. Mengintegrasikan ternak ke dalam sistem pertanian dapat meningkatkan siklus nutrisi, mendiversifikasi sumber pendapatan, dan meningkatkan kesuburan tanah. Kotoran ternak bila dikelola dengan baik dapat menjadi sumber pupuk organik yang berharga dan mengurangi ketergantungan pada *input* pupuk sintetis. Gambaran dari sistem ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Contoh Ilustrasi Praktik Integrasi Peternakan dengan Contoh Hewan Bebek dan Tanaman Padi

Integrasi peternakan mengacu pada integrasi antara pertanian dan peternakan dalam satu sistem yang sama untuk bisa meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya secara keseluruhan. Praktik ini mengakomodasi perluasan fungsi dari peternakan yang semula dari sekadar sumber makanan atau pendapatan menjadi sebuah kontributor utama (*input*) bagi sistem pertanian yang berkelanjutan. Melalui kombinasi interaksi tanaman-ternak, daur ulang nutrisi, pengelolaan limbah, dan produksi yang beragam, integrasi peternakan mewujudkan prinsip-prinsip pertanian tanpa limbah, yang mendorong pertanian berkelanjutan yang menguntungkan lingkungan dan petani.

Peternakan menjadi salah satu sektor yang penting untuk kebutuhan manusia, dimulai dengan adanya domestikasi sekitar 10.000 tahun yang lalu, hewan telah menjadi bagian integral dari sistem pertanian yang menghasilkan berbagai hasil positif. Dalam banyak sistem pertanian tradisional, ternak dikelola dengan hubungan yang erat dengan tanaman, menciptakan sistem yang mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meminimalkan limbah. Praktik kuno ini sering kali melibatkan daur ulang nutrisi dari pupuk kandang ke ladang tanaman, sedangkan sisa tanaman digunakan untuk memberi makan hewan. Namun, dengan munculnya perkembangan industri pertanian pada abad ke-20, produksi ternak dan tanaman pangan menjadi terpisah (Hammada, 2024). Sementara itu, Revolusi Hijau menekankan monokultur dan penggunaan *input* sintetis, seperti pupuk kimia dan pestisida yang sering kali mengorbankan integrasi proses alami dan keanekaragaman hayati (Gultom & Harianto, 2021). Pemisahan ternak dari sistem tanaman pangan ini menyebabkan beberapa konsekuensi negatif berikut ini.

1. Ketidakseimbangan Nutrisi: Sistem monokultur sering kali membutuhkan pupuk sintetis untuk menggantikan nutrisi yang hilang, sedangkan kotoran hewan hanya dijadikan sebagai limbah (tanpa pengelolaan lebih lanjut).
2. Meningkatnya Limbah: Sejalan dengan pernyataan di atas dengan tidak adanya pengelolaan kotoran ternak. Sistem peternakan yang intensif menghasilkan limbah dalam jumlah besar, yang

menyebabkan polusi lingkungan melalui limpasan kotoran ke sistem air dan emisi gas rumah kaca.

3. Berkurangnya Ketahanan: Pemisahan pertanian tanaman pangan dan peternakan menyebabkan sistem yang kurang tangguh dan lebih rentan terhadap wabah penyakit, fluktuasi pasar, dan variabilitas iklim.

Mengatasi hal tersebut, adanya integrasi ternak dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah berupaya untuk mengintegrasikan kembali hewan ke dalam sistem pertanian serta memanfaatkan sinergi alami antara ternak dan tanaman untuk menciptakan ekosistem tanpa limbah yang mandiri. Pendekatan ini didasarkan pada prinsip-prinsip agroekologi yang memprioritaskan keanekaragaman hayati, efisiensi sumber daya, dan daur ulang nutrisi, air, serta energi di dalam pertanian. Pertanian Terpadu tanpa Limbah adalah pendekatan yang menekankan penggunaan semua sumber daya secara efisien dalam pertanian, meminimalkan limbah, dan memaksimalkan produktivitas melalui integrasi berbagai komponen pertanian. Integrasi ternak merupakan elemen inti dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah karena berkontribusi pada daur ulang nutrisi yang digunakan untuk pakan ternak, pengurangan limbah, dan diversifikasi produksi sekaligus meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan.

Hubungan antara integrasi ternak dan Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat dipahami melalui beberapa mekanisme utama berikut ini.

- a. Daur Ulang Nutrisi dan Kesehatan Tanah
Ternak memainkan peran penting dalam siklus nutrisi dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Kotoran hewan berfungsi sebagai pupuk alami, mengembalikan nutrisi penting, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium ke tanah. Hal ini mengurangi kebutuhan akan pupuk sintetis dan meningkatkan kesuburan serta struktur tanah. Penggembalaan ternak juga dapat berkontribusi pada distribusi bahan organik di seluruh lahan pertanian, meningkatkan kesehatan tanah, dan mendorong pertumbuhan tanaman.

b. Minimalisasi Limbah

Salah satu tujuan utama Pertanian Terpadu tanpa Limbah adalah menghilangkan limbah dengan mengubah produk sampingan dari satu bagian sistem menjadi masukan berharga bagi bagian lain. Integrasi ternak membantu mencapai hal ini dengan memanfaatkan sisa tanaman, tanaman penutup, dan limbah makanan sebagai pakan ternak, sekaligus mengubah kotoran hewan menjadi kompos atau biogas. Sistem siklus tertutup ini memastikan bahwa sumber daya digunakan secara efisien dan limbah diminimalkan.

c. Keanekaragaman Hayati dan Layanan Ekosistem

Integrasi ternak meningkatkan keanekaragaman hayati pertanian dengan menggabungkan berbagai spesies tanaman, hewan, dan mikroorganisme ke dalam sistem pertanian. Keanekaragaman hayati ini meningkatkan ketahanan sistem, menyediakan pengendalian hama alami, meningkatkan aktivitas mikroba tanah, dan mendorong layanan ekosistem, seperti penyerbukan dan daur ulang nutrisi. Keberadaan ternak juga menciptakan habitat bagi satwa liar yang berkontribusi pada keanekaragaman hayati di lahan pertanian.

d. Efisiensi Energi dan Mitigasi Iklim

Sistem peternakan terpadu dapat dirancang untuk mengurangi masukan energi dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Misalnya, penggunaan kotoran hewan dalam produksi biogas dapat menyediakan energi terbarukan bagi pertanian sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Selain itu, sistem penggembalaan yang dikelola dengan baik menyerap karbon di tanah dan berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim dengan meningkatkan keseimbangan karbon di lahan pertanian.

e. Diversifikasi Ekonomi

Integrasi peternakan memberi petani berbagai sumber pendapatan dan produksi pangan, sehingga mengurangi ketergantungan mereka pada satu tanaman atau komoditas. Diversifikasi ini meningkatkan ketahanan ekonomi pertanian, sehingga tidak

terlalu rentan terhadap fluktuasi pasar, iklim ekstrem, dan wabah hama. Hal ini juga memungkinkan produksi sepanjang tahun dan penggunaan lahan dan tenaga kerja yang efisien.

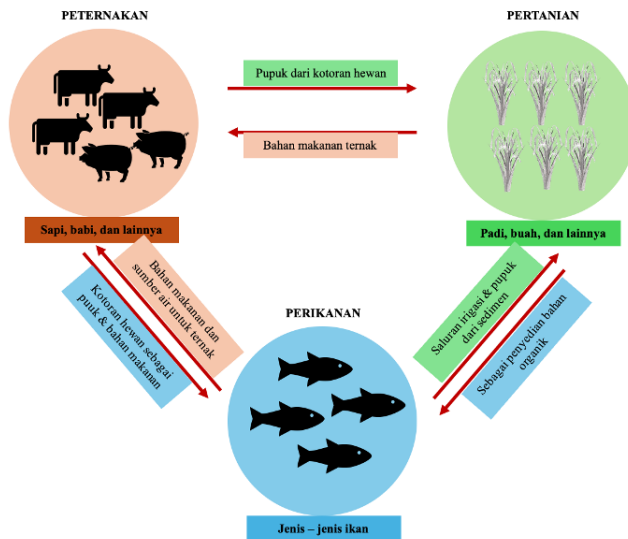
Seperti yang telah disampaikan bahwa dengan adanya integrasi peternakan, selaras dengan prinsip-prinsip Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Kedua sistem menekankan konservasi sumber daya, minimalisasi limbah, dan penggunaan hasil pertanian secara holistik. Hal ini juga selaras dengan konsep ekonomi sirkular yang merupakan landasan dalam konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Integrasi peternakan menawarkan langkah praktik pertanian yang lebih berkelanjutan, tangguh, dan produktif. Dengan menutup siklus nutrisi, mengurangi limbah, dan meningkatkan efisiensi sumber daya, peternakan berkontribusi pada keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan. Manfaat lingkungan, ekonomi, dan sosial dari integrasi peternakan sangat besar, menjadikannya komponen penting dari upaya untuk mencapai pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan dalam menghadapi tantangan global, seperti perubahan iklim, pertumbuhan populasi, dan penipisan sumber daya.

Sebuah studi dari Diwyanto et al., (2002) menunjukkan bahwa integrasi ternak dalam sistem pertanian dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah, ketersediaan nutrisi, dan produktivitas pertanian secara keseluruhan. Saat kita melihat ke masa depan, jelas bahwa integrasi ternak dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah akan memainkan peran penting dalam membentuk sistem pertanian generasi berikutnya. Namun, untuk mewujudkan integrasi ternak secara optimal, diperlukan penelitian, inovasi, dan dukungan kebijakan yang berkelanjutan. Petani, peneliti, dan pembuat kebijakan harus dapat bekerja sama dan bersinergi agar dapat mengatasi tantangan dan meningkatkan keberhasilan pembangunan pertanian yang lebih berkelanjutan dan bebas limbah.

4. Akuakultur

Akuakultur merupakan budidaya organisme akuatik, seperti ikan, kerang, dan tanaman, telah menjadi bagian yang penting dari sistem

pangan global, khususnya dalam konteks meningkatnya tekanan populasi dan berkurangnya sumber daya alam (Rejeki et al., 2019). Dengan menipisnya stok ikan global akibat penangkapan ikan yang berlebihan dan polusi, akuakultur telah menjadi solusi untuk memenuhi permintaan makanan laut yang terus meningkat. Menurut FAO (2024), akuakultur sekarang menyumbang lebih dari 50% dari pasokan ikan global untuk konsumsi manusia, angka yang terus meningkat dalam beberapa dekade terakhir. Sebagai respons terhadap tantangan ini, Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah menawarkan pendekatan transformatif terhadap akuakultur. Integrasi akuakultur dengan komponen pertanian lainnya, seperti tanaman pangan, ternak, dan sistem energi terbarukan, Pertanian Terpadu tanpa Limbah berupaya menciptakan sistem siklus tertutup yang mana limbah dari satu komponen menjadi masukan berharga bagi komponen lainnya. Akuakultur, dalam konteks ini, menjadi elemen penting dalam meminimalkan limbah, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan mendukung produksi pangan berkelanjutan.



Gambar 4.5 Contoh Ilustrasi Praktik Akuakultur yang Dikombinasikan dengan Peternakan dan Pertanian

Komponen akuakultur melibatkan integrasi ikan atau organisme akuatik lainnya dengan komponen budidaya lainnya, seperti tanaman dan ternak (Gambar 4.5). Akuakultur dapat dipraktikkan dalam berbagai sistem, termasuk kolam, tangki, atau sistem akuaponik terintegrasi. Kolam ikan dapat diintegrasikan dengan tanaman pertanian, memanfaatkan air yang kaya nutrisi untuk irigasi dan pemupukan. Limbah yang dihasilkan oleh ikan dapat digunakan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman, menciptakan hubungan simbiosis. Sebuah studi dari Troell et al. (2014) menekankan potensi sistem akuakultur terpadu untuk meningkatkan produksi pangan, memperbaiki pengelolaan air dan nutrisi, serta menghasilkan pendapatan tambahan bagi petani. Dengan memasukkan akuakultur ke dalam sistem pertanian, petani dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan mempromosikan produksi pangan berkelanjutan.

Dengan mengintegrasikan akuakultur dengan komponen pertanian lainnya, seperti tanaman pangan, ternak, dan sistem energi terbarukan, Pertanian Terpadu tanpa Limbah berupaya menciptakan sistem siklus tertutup di mana limbah dari satu komponen menjadi masukan berharga bagi komponen lainnya. Akuakultur, dalam konteks ini, menjadi elemen penting dalam meminimalkan limbah, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan mendukung produksi pangan berkelanjutan.

Bab ini akan membahas peran akuakultur dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah, menyoroti hubungannya dengan model pertanian tanpa limbah, dan membahas manfaat penggunaan akuakultur dalam kerangka kerja ini. Dalam Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah, akuakultur memainkan peran multifaset dengan berkontribusi pada daur ulang nutrisi, pengelolaan limbah, dan peningkatan produktivitas pertanian. Integrasi akuakultur dengan komponen pertanian lainnya menciptakan hubungan sinergis, yang mana sumber daya digunakan secara lebih efisien, dan dampak lingkungan diminimalkan. Selain itu, mengintegrasikan akuakultur dengan komponen pertanian lainnya, seperti tanaman pangan dan ternak serta menciptakan sistem pertanian yang lebih beragam dan

tangguh yang dapat lebih tahan terhadap tekanan lingkungan, seperti perubahan iklim, hama, dan penyakit.

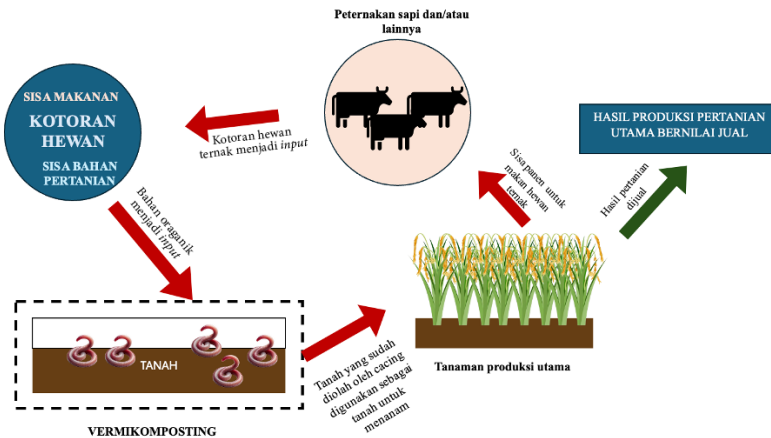
Akuakultur merupakan komponen penting dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah karena berpotensi untuk menghasilkan pangan yang berkelanjutan dengan pemanfaatan sumber daya yang optimal. Akuakultur merupakan sebuah sistem tertutup yang mampu meningkatkan produktivitas lahan pertanian dan penggunaan air secara efisien. Akuakultur memberikan banyak manfaat untuk lingkungan, seperti daur ulang unsur hara, pengelolaan limbah organik, dan peningkatan keanekaragaman hayati (Troell et al., 2014) dan juga mendorong ketahanan pangan melalui penyediaan protein yang lebih mudah, serta berpotensi untuk membuka lapangan pekerjaan baru di wilayah pertanian yang nantinya dapat berkontribusi terhadap kesejahteraan sosial masyarakat (Ahmed & Garnett, 2011).

Pada masa yang akan datang, integrasi antara sistem perikanan dan pertanian dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah akan berperan penting, utamanya dalam membentuk sistem pertanian berkelanjutan. Namun, dalam implementasinya, akuakultur masih dihadapkan pada tiga tantangan utama, yaitu pengelolaan air yang kurang optimal yang berdampak pada eutrofikasi dan mengurangi efisiensi (Boyd & McNevin, 2015), pengendalian hama penyakit yang masih rendah (Stentiford et al., 2012), dan keterbatasan akses terhadap modal (Belton & Thilsted, 2014). Untuk dapat menangani permasalahan tersebut, dibutuhkan adanya kerja sama aktif antara petani, peneliti, dan pemerintah. Harapannya adalah dapat mendukung dan mempercepat proses adopsi sistem akuakultur untuk dapat menciptakan masa depan pertanian yang lebih berkelanjutan dan tanpa limbah.

B. Vermikomposting

Vermikomposting merupakan komponen penting dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah, yang memainkan peran penting dalam daur ulang nutrisi, perbaikan tanah, pengurangan limbah, dan keberlanjutan lingkungan. Inti dari keberhasilan Pertanian Terpadu tanpa Limbah

adalah konsep vermikomposting, yakni metode pengelolaan limbah organik yang efisien dengan memanfaatkan cacing tanah untuk menguraikan bahan organik dan mengubahnya menjadi kompos yang kaya nutrisi (Tanzil et al., 2023). Vermikomposting adalah proses penggunaan spesies cacing tanah tertentu, seperti *Eisenia fetida* (umumnya dikenal sebagai cacing merah) atau *Lumbricus rubellus* untuk memecah bahan organik menjadi humus yang kaya nutrisi, yang umumnya disebut sebagai vermikomposting (Hazra et al., 2018). Cacing tanah mengonsumsi limbah organik, seperti sisa makanan, sisa pertanian, dan kotoran hewan serta mengeluarkan bahan yang disebut kotoran cacing, yang kaya akan mikroorganisme, enzim, dan nutrisi yang bermanfaat, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium (Liberty et al., 2022). Vermikomposting sangat dihargai karena kemampuannya untuk meningkatkan kesehatan tanah dan retensi air serta mendukung pertumbuhan tanaman.



Keterangan: praktik Vermikomposting dengan memanfaatkan limbah

Gambar 4.6 Contoh Ilustrasi Praktik Vermikomposting dengan Pertanian dan Peternakan

Tidak seperti pengomposan tradisional yang bergantung pada dekomposisi mikroba dan dapat memakan waktu beberapa bulan, pengomposan cacing merupakan proses yang lebih cepat karena cacing

tanah secara aktif memecah bahan organik sehingga mempercepat transformasi limbah menjadi kompos (Kristina et al., 2023). Proses ini juga berlangsung pada suhu yang lebih rendah sehingga lebih hemat energi dan cocok untuk pertanian skala kecil, pertanian perkotaan, dan bahkan pengelolaan limbah rumah tangga. Pengomposan cacing sangat sesuai dengan kerangka kerja Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang lebih luas, yang bertujuan untuk menciptakan sistem siklus tertutup yang meniru ekosistem alami dengan mendaur ulang sumber daya dan meminimalkan limbah. Dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah, pengomposan cacing memainkan peran penting dalam daur ulang nutrisi, peningkatan kesehatan tanah, pengurangan limbah, dan pengelolaan bahan organik (Bawamenewi & Lase, 2025). Proses ini menghubungkan berbagai komponen pertanian, seperti akuakultur, peternakan, dan produksi tanaman, untuk memastikan tidak ada bahan organik yang terbuang sia-sia.

Dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah, setiap komponen menghasilkan produk sampingan organik yang dapat disalurkan ke dalam proses vermikomposting sehingga meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan seluruh sistem. Hubungan utama antara vermikomposting dan komponen Pertanian Terpadu tanpa Limbah lainnya meliputi berikut ini.

1. Akuakultur

Sistem akuakultur menghasilkan limbah organik, seperti kotoran ikan dan pakan yang tidak dimakan yang dapat menyebabkan pencemaran air jika tidak dikelola dengan baik. Vermikomposting dapat digunakan untuk memproses lumpur organik yang dikumpulkan dari sistem akuakultur, mengubahnya menjadi vermikomposting yang berharga. Hal ini tidak hanya mengurangi kontaminasi air, tetapi juga menciptakan amandemen tanah yang kaya nutrisi yang dapat digunakan dalam produksi tanaman.

2. Ternak

Peternakan menghasilkan sejumlah besar kotoran ternak, yang jika dikelola dengan tidak tepat, dapat berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca dan limpasan nutrisi. Vermikomposting

menyediakan cara yang efektif untuk mendaur ulang kotoran ternak menjadi pupuk organik. Cacing tanah memproses kotoran ternak, memecah patogen, dan mengubah nutrisi menjadi bentuk yang lebih tersedia bagi tanaman. Hubungan ini mengurangi dampak lingkungan dari peternakan sekaligus menyediakan masukan yang berharga untuk produksi tanaman.

3. Produksi Tanaman

Vermikomposting dapat langsung diaplikasikan ke tanaman sebagai amandemen tanah atau pupuk organik, meningkatkan kesuburan tanah, retensi air, dan aktivitas mikroba. Pengintegrasian vermikomposting ke dalam produksi tanaman akan mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia, meningkatkan kesehatan tanah, dan meningkatkan hasil panen. Limbah organik yang dihasilkan dari sisa tanaman, selanjutnya dapat dimasukkan kembali ke dalam sistem vermikomposting dan menciptakan siklus nutrisi melingkar.

Vermikomposting melibatkan penggunaan cacing tanah untuk menguraikan bahan limbah organik dan mengubahnya menjadi kascing (bekas cacing). Komponen vermikultur dalam sistem pertanian biasanya mencakup pembuatan tempat penyimpanan vermikultur khusus, yang mana bahan limbah organik, seperti sisa tanaman, sisa dapur, dan kotoran ternak ditambahkan bersama dengan cacing tanah. Cacing tanah memakan bahan organik, memecahnya dan menghasilkan kascing, yang merupakan pupuk organik yang berharga untuk tanaman. Integrasi ini menjadi semakin populer sebagai komponen dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah .

Cacing tanah dapat meningkatkan struktur dan ketersediaan hara tanah serta membantu proses dekomposisi bahan organik. Selain itu, kascing kaya akan nutrisi dan mikroorganisme yang bermanfaat, menjadikannya pupuk organik yang sangat baik. Penelitian dari Damaita et al. (2024) menyoroti efek positif kascing terhadap pertumbuhan tanaman, kesuburan tanah, dan pengendalian hama. Dengan memasukkan vermikultur ke dalam sistem pertanian, petani dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, mendorong

kelestarian lingkungan, dan berkontribusi pada sistem pertanian yang lebih sirkular dan tangguh.

Vermikomposting merupakan alat yang ampuh untuk mencapai tujuan Sistem Pertanian Terpadu Bebas Limbah. Daur ulang limbah organik menjadi kompos yang berharga, Vermikomposting meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi limbah, dan berkontribusi pada produksi pangan berkelanjutan. Integrasinya dengan komponen Pertanian Terpadu tanpa Limbah lainnya—seperti akuakultur, peternakan, dan produksi tanaman—menciptakan sinergi yang meningkatkan efisiensi sumber daya, mengurangi dampak lingkungan, dan mendorong keberlanjutan ekonomi. Saat dunia bergulat dengan tantangan perubahan iklim, berkurangnya sumber daya, dan kerawanan pangan, vermikomposting menawarkan solusi praktis dan terukur yang dapat diterapkan oleh petani, dari usaha petani kecil hingga perusahaan pertanian skala besar. Manfaat lingkungan, ekonomi, dan sosialnya menjadikannya komponen penting dari pembangunan berkelanjutan, yang berkontribusi pada masa depan pertanian yang lebih tangguh, produktif, dan bebas limbah. Dengan mendorong penerapan vermikomposting dan praktik bebas limbah lainnya, petani, pembuat kebijakan, dan masyarakat dapat bekerja sama untuk menciptakan sistem pangan yang lebih berkelanjutan dan adil sebagai sistem yang mendukung manusia dan planet ini untuk generasi mendatang.

Pertanian Terpadu tanpa Limbah menawarkan pendekatan yang komprehensif dan berkelanjutan untuk pertanian modern. Dengan menggabungkan berbagai komponen, seperti rotasi tanaman, agroforestri, integrasi ternak, akuakultur, dan vermikomposting, petani dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, meningkatkan produktivitas, dan mengurangi dampak lingkungan. Studi dari (Efendi, 2016) menunjukkan potensi Pertanian Terpadu tanpa Limbah untuk meningkatkan kesuburan tanah, hasil panen, siklus nutrisi, dan keberlanjutan pertanian. Adopsi pendekatan pertanian terpadu ini dapat membuka jalan bagi masa depan pertanian yang lebih tangguh dan berkelanjutan.

C. Kendala yang dihadapi dalam Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia

Penerapan Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia menghadapi beberapa kendala yang menghambat penerapannya secara luas dan realisasi manfaat potensialnya. Kendala yang dihadapi dalam proses implementasi Sistem Pertanian Berkelanjutan di Indonesia sebagai berikut.

1. Masalah Fragmentasi Lahan dan Kepemilikan
Salah satu kendala signifikan untuk menerapkan Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia adalah fragmentasi lahan pertanian dan masalah tenurial yang rumit. Fragmentasi lahan sering kali disebabkan oleh pola pewarisan dan pertumbuhan penduduk, menyebabkan pemilikan lahan yang kecil sehingga sulit untuk mengintegrasikan berbagai komponen Pertanian Terpadu tanpa Limbah secara efektif. Selain itu, sistem penguasaan lahan yang tidak jelas menciptakan ketidakpastian dan konflik sehingga sulit untuk menerapkan praktik pertanian terpadu jangka panjang.
2. Akses Teknologi dan Informasi Terbatas
Akses teknologi dan informasi yang tepat sangat penting untuk keberhasilan implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Namun, akses petani di berbagai daerah di Indonesia terhadap teknologi pertanian modern, seperti mesin, alat pertanian presisi, dan sistem irigasi yang efisien sampai saat ini masih terbatas. Kurangnya akses terhadap informasi terkini tentang teknik Pertanian Terpadu tanpa Limbah, praktik pengelolaan tanaman, dan tren pasar semakin menghambat adopsi dan optimalisasi sistem pertanian terpadu.
3. Sumber Daya Keuangan yang Terbatas
Implementasi Pertanian Terpadu Tanpa Limbah sering kali membutuhkan investasi awal berupa infrastruktur, peralatan, dan pembangunan kapasitas. Sumber daya keuangan yang terbatas

dan kurangnya akses terhadap kredit menghambat kemampuan petani untuk mengadopsi dan mempertahankan praktik pertanian terpadu. Petani, yang merupakan bagian penting dari sektor pertanian di Indonesia, menghadapi tantangan dalam mengakses layanan keuangan dan peluang investasi (Nababan & Regina, 2021; Yoko & Prayoga, 2019). Salah satu penyebabnya adalah karena kurangnya akses petani kepada layanan keuangan formal karena data dari (IFC, 2022) menunjukkan bahwa hanya 5% pinjaman yang dialokasikan untuk sektor pertanian. Selain itu, prosedur pinjaman yang panjang juga menjadi alasan petani tidak banyak mengajukan pinjaman di lembaga keuangan formal (Alamsyah et al., 2021).

4. Hambatan Kebijakan dan Kelembagaan

Kebijakan dan kelembagaan dapat menghambat implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia. Kebijakan yang tidak konsisten, peraturan yang tidak memadai, dan kerumitan birokrasi menciptakan ketidakpastian bagi petani dan pemangku kepentingan pertanian. Kurangnya koordinasi antara lembaga pemerintah terkait dan dukungan kelembagaan yang terbatas untuk Pertanian Terpadu tanpa Limbah membatasi pengadopsian dan skalabilitasnya.

5. Faktor Sosial Budaya

Faktor sosial-budaya, seperti praktik pertanian tradisional dan kepercayaan budaya, dapat menjadi tantangan bagi implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Perlawanan terhadap perubahan, keengganan untuk mengadopsi teknik pertanian baru, dan norma budaya seputar penggunaan lahan dan praktik pertanian dapat menghambat integrasi berbagai komponen dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Memahami dan menangani faktor-faktor sosial budaya ini sangat penting untuk implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang sukses.

Seperti telah dijelaskan, implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia menghadapi berbagai kendala. Upaya untuk

mengatasi kendala tersebut membutuhkan kerja kolaboratif dari para pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, lembaga pertanian, peneliti, dan petani itu sendiri. Reformasi kebijakan, peningkatan akses ke teknologi dan keuangan, program peningkatan kapasitas, dan kampanye kesadaran dapat berkontribusi pada keberhasilan implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah, yang mengarah pada sistem pertanian yang berkelanjutan dan tangguh di Indonesia.

BAB V

PROTOTYPE

Salah satu sektor utama ekonomi Indonesia adalah pertanian, yang dianggap sebagai negara agraris dan memainkan peran penting dalam menyediakan pangan, menciptakan lapangan pekerjaan, dan memberikan sumber penghidupan bagi jutaan orang. Namun, seiring dengan pertumbuhan populasi penduduk dan perubahan fungsi lahan, Indonesia menghadapi tantangan yang semakin kompleks dalam mempertahankan dan meningkatkan produktivitas pertanian. Arah pengembangan sistem pertanian dengan Pertanian Terpadu tanpa Limbah menjadi salah satu alternatif yang menguntungkan (baca Bab 1 dan Bab 2).

Pada Bab ini, akan diuraikan secara lebih komprehensif terkait prototipe dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Pengembangan prototipe Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang akan diterapkan di Indonesia merupakan sebuah pendekatan pertanian yang dapat menjawab dua isu sekaligus, yakni (1) memastikan ketahanan pangan dan (2) menjaga keberlanjutan lingkungan. Melalui penerapan metode pertanian ini, Indonesia berpotensi membuka jalan bagi masa depan pertanian yang lebih berkelanjutan dan sukses (Nababan & Regina, 2021). Pengembangan prototipe ini mengintegrasikan antara sistem pertanian akuaponik dengan peternakan ayam, budidaya maggot (*Hermetia illucens*) dan juga budidaya lele (akan dijelaskan lebih detail pada subbab selanjutnya).

A. Langkah Persiapan dari Pembuatan Prototipe Pertanian Terpadu tanpa Limbah

Secara umum, pelaksanaan program Pertanian Terpadu tanpa Limbah terdiri atas empat tahapan yang dapat dilakukan, yaitu rintisan, *prototyping*, amplifikasi, dan rekognisi.

1. Tahap 1 - Rintisan

Tahap ini merupakan tahap awal yang dilakukan dalam rangka pembuatan prototipe dan implementasi dari konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Tahapan rintisan ini terdiri dari beberapa sub lainnya yang meliputi berikut ini.

- a. Pemetaan lokasi
Pemetaan lokasi nantinya akan dijadikan sebagai lokasi implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Dengan adanya pemetaan ini, model sistem yang dikembangkan akan menjadi lebih efisien dan optimal karena akan disesuaikan dengan kebutuhan dan ketersediaan sumber daya alam.
- b. Mengukur persepsi masyarakat
Pengukuran persepsi masyarakat bertujuan untuk melihat pengetahuan dan pandangan masyarakat terkait dengan sistem yang akan dikembangkan. Karena dengan mengukur hal ini, langkah-langkah strategis pengembangan kapasitas untuk petani dapat dilakukan.
 - 1) Melakukan FGD dengan pemerintah dan pemangku kepentingan terkait.
Tujuannya adalah agar bisa merumuskan langkah-langkah strategis untuk penerapan model Pertanian Terpadu tanpa Limbah dengan bahan maggot pada masyarakat dan pemerintah daerah.
 - 2) Melakukan uji coba.
Uji coba dilakukan di lokasi lain yang memiliki peluang pengembangan model Pertanian Terpadu tanpa Limbah.

Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah model yang akan diterapkan pada lokasi selanjutnya merupakan model yang dapat bertahan terhadap kondisi lingkungan dan bisa berkelanjutan. Selain itu, pembuatan model ini juga untuk mengukur efektivitas penggunaan sumber daya, termasuk sumber daya alam dan sumber daya finansial dalam proses *input* dan *output*-nya.

2. Tahap 2 – Prototyping

Tahapan kedua adalah tahapan pembuatan prototipe., Tahapan ini sangat dipengaruhi oleh tahapan sebelumnya yang mana sudah pernah melakukan uji coba pembangunan model Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Dalam konteks ini yang menggunakan elemen penyusun berupa integrasi dari sistem pertanian hidroponik, peternakan ayam dan juga perkembangbiakan maggot perlu dibuat “*blueprint*” yang sesuai dengan kondisi lingkungannya. Pembuatan prototipe ini juga disesuaikan dengan kebutuhan dan masalah yang dihadapi oleh masyarakat. Sebagai contoh, limbah domestik dari rumah tangga masyarakat (sisa sayuran, buah, dan makanan) yang selama ini menjadi masalah penduduk, dapat diproses menjadi makanan utama maggot dan hasilnya akan menjadi pupuk organik dan makanan ikan (*pelet*). Selain itu, prototipe ini ditambahkan otomatisasi sehingga memudahkan masyarakat untuk mengontrol pemakaian model Pertanian Terpadu tanpa Limbah dengan bahan maggot tersebut.

3. Tahap 3 – Amplifikasi

Tahapan ini berkaitan dengan pengembangan dan penambahan inovasi pada sistem yang akan dibangun. Tahapan amplifikasi akan berjalan optimal apabila pada Tahap 1 – Rintisan, semua komponen lingkungan dan kondisi wilayah sekitarnya sudah tercatat. Selain itu, penguatan elemen kelembagaan dan pemasaran juga dilakukan sebagai upaya *branding* dari sistem yang sedang dikembangkan.

4. Tahap 4 – Rekognisi

Tahapan ini adalah tahap di mana sistem sudah berjalan. Harapannya adalah sistem yang berjalan sudah sesuai dengan yang diharapkan dan direncanakan sehingga dapat diimplementasikan secara massal oleh masyarakat petani dan juga menjadikan desa masuk dalam jaringan nasional (dijadikan sebagai wilayah percontohan untuk implementasi di lokasi lainnya di Indonesia).

B. Rekomendasi Model Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang dapat Dikembangkan

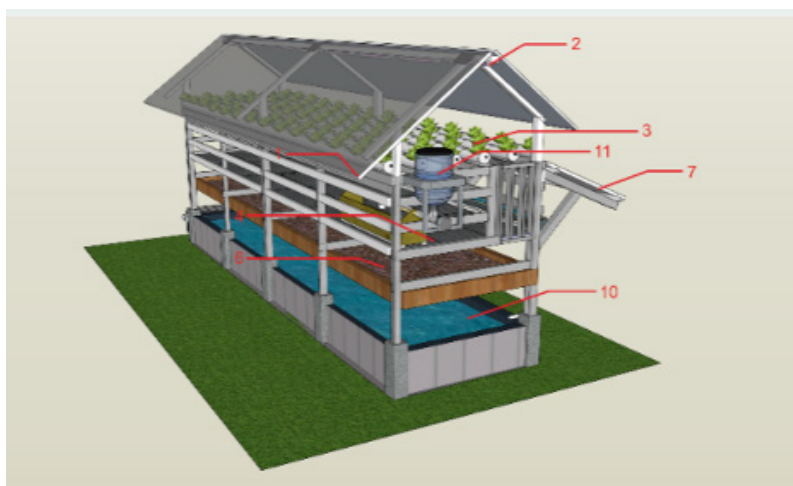
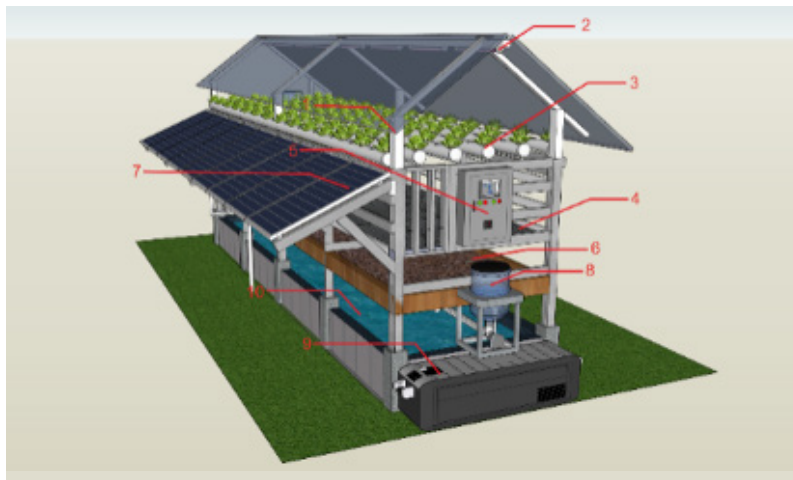
Pada subbab ini, akan diuraikan tentang gambaran umum dari model yang dikembangkan, yaitu prototipe Pertanian Terpadu tanpa Limbah dengan semiotomatis dan dapat dipantau secara digital. Prototipe ini terdiri dari empat bagian yang tersusun bertingkat dan terbuat dari rangka berbahan galvalum atau baja ringan sesuai dengan ukuran. Tingkatan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Tingkatan pertama digunakan untuk pertanian akuaponik.
2. Tingkatan kedua digunakan untuk kandang ayam.
3. Tingkatan ketiga untuk kandang maggot.
4. Tingkatan keempat adalah kolam lele dumbo.

Pemantauan secara digital dan semiotomatisasi juga disematkan dalam rancangan model ini menggunakan sensor pH dalam rangka memastikan ikan dan tanaman tidak mengalami tingkat keasaman yang tinggi. Rancangan yang direkomendasikan juga menggunakan tampilan LCD, sebagai media tampil hasil pengukuran pH. Semiotomatisasi digunakan pada proses pemberian pakan pelet dengan opsi berupa memberi makan otomatis dengan menekan tuas yang disediakan atau memberikan secara berkala sesuai waktu yang diatur atau direncanakan. Selain itu, terdapat aktuator dalam sistem ini yang diibaratkan sebagai *blower* pemberi pakan pelet dan pompa air untuk akuaponik. Selanjutnya, integrasi komponen elektronik pada rangka baja ringan dilakukan agar dapat mengetahui kinerja sistem yang telah dibuat.

Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang merupakan pengolahan limbah dilakukan oleh maggot yang dikombinasikan dengan peternakan ayam, perikanan lele, dan pertanian secara akuaponik. Maggot berperan sebagai pakan sampingan untuk ayam, sedangkan kotoran ayam yang telah terdehidrasi dapat menjadi pakan maggot, dan air kolam lele dapat digunakan untuk pupuk tanaman akuaponik. Air yang mengandung sisa metabolisme ikan lele berfungsi sebagai sumber nutrisi pertumbuhan tanaman. Kandungan amonia dalam air kolam dapat memberikan nutrisi bagi tanaman.

Tren penggunaan maggot (*Hermetia illucens*) atau belatung dari spesies lalat *Black Soldier Fly* (BSF) untuk mengurangi limbah menjadi solusi dalam pengolahan limbah organik. Dalam perkembangannya, maggot dimanfaatkan untuk mengurangi limbah hasil samping pertanian-peternakan. Selain itu, maggot dapat dimanfaatkan sebagai pakan tambahan pada peternakan seperti ayam. Maggot berfungsi sebagai pakan tambahan sehingga dapat menekan biaya pakan. Dalam prototipe ini, maggot dapat digunakan sebagai bahan pakan ternak (ayam) dan juga lele. Hal ini karena maggot memiliki kandungan protein dan lemak yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan nutrisi dari unggas dan lele tersebut (Al Rizki et al., 2021; Noviadi et al., 2023). Untuk rekomendasi desain model ini dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



Keterangan:					
1	Fiber Glass (atap)	5	Panel Kontrol	9	Baterai
2	Lampu UV (sumber cahaya)	6	Kandang Maggot	10	Kolam Ikan
3	Pertanian akuaponik	7	Panel Surya	11	Tempat Makan Ayam
4	Kandang Ayam	8	Penampung pakan ikan		

Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

Gambar 5.1 Model Pertanian Terpadu tanpa Limbah dengan Empat Elemen Penyusun

Berdasarkan Gambar 5.1, desain yang akan dibuat terdiri dari empat tingkatan, yaitu tingkat pertama pertanian akuaponik (3), tingkat kedua kandang ayam (4), tingkat ketiga kandang maggot (6) dan tingkat keempat kolam ikan lele dumbo (10); yang mana komponen-komponen tersebut dirakit dan dipasang menjadi satu kesatuan menjadi sistem pertanian terintegrasi ramah lingkungan.

Pada tingkatan pertama pertanian akuaponik (3), terdapat pipa PVC berdiameter 7,62 cm yang dilubangi sebagai tempat menanam sayur, *fiber glass* (1) sebagai atap pelindung akuaponik dan lampu ultraviolet (2) sumber cahaya pada sistem pertanian terintegrasi ramah lingkungan yang akan menyala otomatis ketika malam hari. Pada tingkatan kedua kandang ayam (2) terdapat kawat kasa sebagai lantai dari kandang ayam tersebut yang diperkirakan kotoran ayam bisa jatuh dengan mudah ke kandang maggot; serta terdapat tempat makan ayam (11) berupa kotak dibuat dengan bahan aluminium terintegrasi dengan *blower* yang juga digunakan pada tempat makan ikan lele dumbo.

Pada tingkatan ketiga kandang maggot (6) terdapat jaring-jaring lembut (*waring*) sebagai dinding kandang. Pada tingkatan keempat kolam ikan lele dumbo (10) terdapat alas terpal agar dapat menampung air dan tempat untuk pelet ikan lele berbentuk tabung (8) yang dipasang pipa kecil dengan ukuran diameter 2 cm dan panjang 30 cm berfungsi sebagai lubang keluaran pelet. Otomatisasi dari model ini terletak pada adanya panel kontrol (5) yang berfungsi sebagai pengatur kinerja peralatan elektronik dan menampilkan hasil pemantauan persentase baterai dan tingkat keasaman (pH). Selain itu, untuk menjaga kestabilan sumber energi yang masuk dan juga menerapkan prinsip hemat energi, model ini juga menggunakan panel surya (7) yang berfungsi sebagai sumber energi listrik bagi peralatan elektronik pendukung sistem. Untuk mendukung hal ini, maka terdapat baterai (9) yang berfungsi sebagai penyimpan energi listrik untuk menghidupkan peralatan elektronik pendukung sistem.

C. Model Ekonomi Sirkular pada Pertanian Terpadu tanpa Limbah

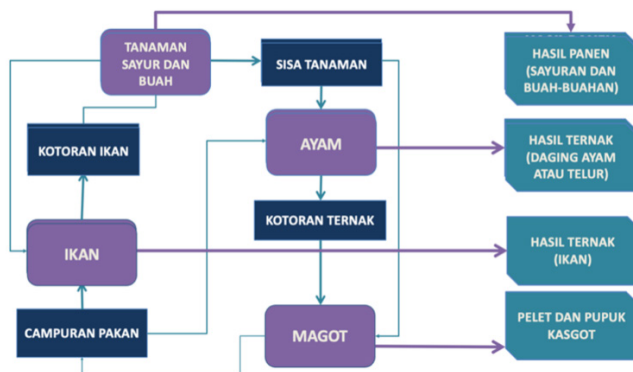
Ekonomi sirkular berfokus pada pemanfaatan sumber daya secara optimal dengan meregenerasi produk dan bahan sehingga dapat digunakan kembali. Pemulihan fungsi ini dilakukan dengan cara daur ulang barang-barang yang telah diproduksi sebelumnya menjadi barang baru yang dapat digunakan. Tujuan utama ekonomi sirkular adalah bertanggung jawab terhadap sosial masyarakat dan lingkungan. Dari sudut pandang perusahaan, ekonomi sirkular memiliki berbagai tujuan, antara lain untuk menghindari sanksi denda atas pelanggaran UU lingkungan, menjaga kelestarian lingkungan, dapat mengurangi biaya pengelolaan lingkungan, serta berguna untuk memperoleh capaian syarat sertifikasi.

Salah satu konsep pengelolaan limbah adalah menggunakan konsep ekonomi sirkular. Melalui konsep ekonomi sirkular, limbah yang biasanya dipandang mengganggu dan tidak berharga diolah kembali dan dapat dimanfaatkan menjadi barang dan bahan yang dipakai. Penerapan konsep ekonomi sirkular perlu diupayakan untuk mendorong pembangunan ekonomi yang berkelanjutan, terutama di wilayah Indonesia. Dalam sistem ini, material dan produk dirancang untuk digunakan kembali, diperbaiki, dan didaur ulang sebanyak mungkin. Konsep ini berbeda dengan model ekonomi linear tradisional yang cenderung menghasilkan banyak limbah dan menghabiskan sumber daya alam.

Ekonomi sirkular adalah sebuah pendekatan dalam sistem ekonomi yang dirancang untuk bersifat restoratif dan regeneratif. Dalam sistem ini, nilai produk, material, dan sumber daya dipertahankan selama mungkin dalam ekonomi sehingga limbah dapat diminimalkan. Teori *Circular Economy* (CE) menunjukkan bahwa meningkatkan efisiensi sumber daya dan mengurangi limbah sepanjang siklus hidup produk yang dihasilkan merupakan peluang ekonomi yang belum banyak dieksplorasi dan memiliki potensi untuk pertumbuhan ekonomi. Pemerintah Indonesia telah mulai

memperhatikan penerapan ekonomi sirkular di dalam negeri. Dalam model ini, barang yang sudah dikonsumsi dapat diolah kembali (*reduce, reuse, recycle, replace, repair*). Sampah tersebut diproduksi ulang sehingga mengurangi dampak limbah buangan yang berbahaya bagi lingkungan dan dapat digunakan kembali sebagai produk baru atau sebagai bahan baku produk lain.

Konsep ekonomi sirkular tidak hanya berorientasi pada profit, tetapi juga bertujuan untuk mencapai kinerja lingkungan yang lebih baik dengan melindungi dan tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Penyelarasan antara tujuan ekonomi dengan kelestarian alam ini berjalan secara inheren dan tidak bertentangan satu sama lain. Ekonomi sirkular ini dapat diimplementasikan dalam berbagai proses usaha atau kewirausahaan, termasuk usaha tani. Salah satu contoh penerapan ekonomi sirkular adalah pada usaha tani komoditas pisang yang dikenal sebagai pohon seribu guna. Tidak hanya buahnya, bagian tanaman pisang banyak dimanfaatkan menjadi produk makanan olahan, pembungkus makanan, obat, kerajinan, kosmetik, pakan ternak, hingga pupuk yang berguna sebagai *input* usaha tani.



Gambar 5.2 Model *Circular Economy* pada Pertanian Terpadu tanpa Limbah

Berdasarkan Gambar 5.2, model ekonomi sirkular pada Pertanian Terpadu tanpa Limbah merupakan sebuah upaya mengelola limbah dari pertanian terpadu (pertanian, perikanan, dan peternakan) menjadi bernilai ekonomis. Dalam konsep ini, limbah tanaman

sayur dan buah akan dimanfaatkan untuk pakan ayam dan pakan maggot, yang kemudian maggot tersebut akan dijadikan sebagai pelet dan pupuk dari bekas maggot. Limbah ikan akan difiltrasi menjadi pupuk cair untuk tanaman, dan yang terakhir limbah dari ayam akan dijadikan sebagai pakan maggot. Pertanian Terpadu tanpa Limbah tidak menghasilkan limbah yang terbuang dan semua mempunyai nilai ekonomis dan ekologis.

Menurut Purnomo (2021), ekonomi sirkular secara sederhana terangkum dalam konsep 3R, yaitu *reduce, reuse, and recycle*. Adapun penjabaran dari strategi 3R adalah sebagai berikut.

1. *Reduce* merupakan prinsip mengurangi. Hal ini menjelaskan bahwa setiap individu sebisa mungkin harus mengurangi penggunaan bahan-bahan yang dapat berpotensi menjadi tumpukan sampah.
2. *Reuse* merupakan prinsip menggunakan kembali. Prinsip ini merupakan aktivitas mengelola barang-barang yang masih dapat dimanfaatkan kembali menjadi produk lain sehingga dapat meminimalisasi adanya tumpukan sampah.
3. *Recycle* merupakan prinsip mendaur ulang. Prinsip ini menjelaskan aktivitas mengubah fungsi sampah menjadi barang-barang yang bernilai dan bisa bermanfaat. Prinsip daur ulang ini juga bertujuan untuk menghasilkan barang baru dari pengelolaan sampah hingga mampu bernilai ekonomis dan tumpukan sampah dapat berkurang.

Ekonomi sirkular berfokus pada pengurangan limbah dan pemanfaatan sumber daya secara maksimal melalui daur ulang, penggunaan kembali, dan perpanjangan umur produk. Dalam Pertanian Terpadu tanpa Limbah, ekonomi sirkular dapat diterapkan melalui pemanfaatan limbah tanaman sayur dan/atau buah, ikan, dan ayam sebagai pupuk organik cair, kompos, dan pakan maggot yang menjadi produk bernilai tambah, mendukung praktik pertanian berkelanjutan, dan mengurangi biaya produksi bagi petani. Dengan mengurangi limbah dan memaksimalkan pemanfaatan sumber daya, ekonomi sirkular menciptakan sistem pertanian yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

BAB VI

DAMPAK, MANFAAT, DAN KORELASI DENGAN KEBERLANJUTAN

A. Konsep Pertanian Berkelanjutan

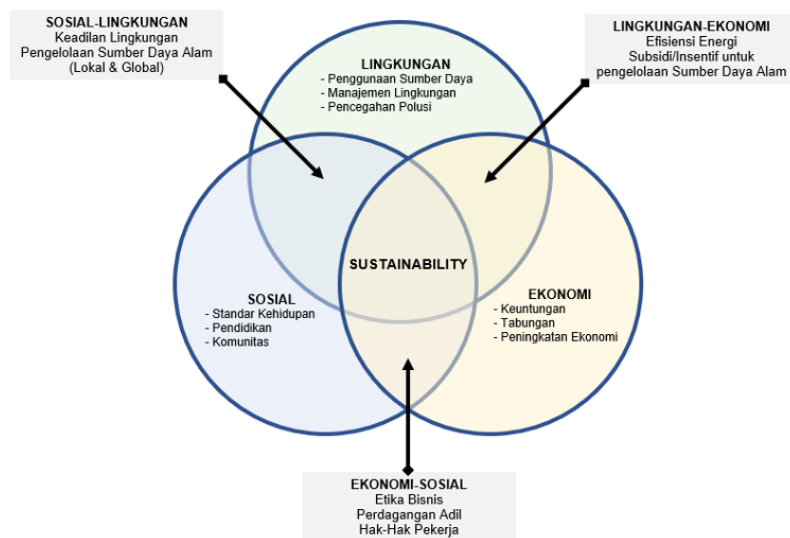
Sektor pertanian diharapkan untuk secara terus-menerus menyediakan kebutuhan makanan dan sumber daya lain bagi populasi manusia di dunia yang tiap tahun semakin meningkat (*lebih jelas dapat dilihat pada Bab 1*). Namun, banyak sekali masalah yang mengancam kemampuan pertanian untuk memenuhi kebutuhan manusia saat ini dan masa depan, antara lain perubahan iklim; tingkat kehilangan keanekaragaman hayati yang tinggi; degradasi tanah melalui erosi tanah, pemadatan, salinasi, dan polusi; penipisan dan pencemaran sumber daya air; kenaikan biaya produksi; jumlah lahan pertanian yang semakin berkurang yang diikuti dengan produktivitas yang menurun dan, terkait dengan itu, kemiskinan dan penurunan populasi pedesaan (Peters, 2010; Rivera-Ferre et al., 2013). Tidak hanya berhadapan dengan masalah tersebut, sistem pertanian konvensional yang tidak mempertimbangkan keberlanjutan yang telah dipraktikkan selama beberapa dekade terakhir ini juga merupakan penyebab utama akselerasi dari munculnya permasalahan-permasalahan di atas (Goodland, 1997; Koohafkan et al., 2012).

Sejak tahun 1987 melalui Brundtland Report, sudah banyak gagasan yang dikemukakan sebagai langkah untuk menyelesaikan permasalahan ini. Salah satunya adalah konsep Pertanian Berkelanjutan (Tait & Morris, 2000), yang memiliki banyak konsepsi sejak awal kemunculannya. Definisi yang berbeda dari Pertanian Berkelanjutan membuat realisasinya menjadi tidak jelas dan membingungkan karena pandangan tiap kelompok akan berbeda. Hasil penelitian dari Velten et al. (2015) menyatakan untuk mengatasi perbedaan pandangan dalam konsep Pertanian Berkelanjutan, diperlukan untuk merangkul semua kompleksitas yang bervariasi dan bertentangan dari masing-masing definisi. Hal ini karena pandangan dan pendekatan yang berbeda terhadap Pertanian Berkelanjutan dari berbagai disiplin ilmu akan saling melengkapi satu sama lain.

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, mendefinisikan Pertanian Berkelanjutan merupakan hal yang dapat menimbulkan perdebatan jangka panjang dari setiap sudut pandang ilmu pengetahuan. Menurut Crews et al. (1991); Flora, (1992); dan Kambewa, (2007), definisi dasar dari Pertanian Berkelanjutan adalah sebuah sistem yang bersifat jangka panjang dan berpotensi untuk meningkatkan kualitas lingkungan dan basis sumber daya tempat pertanian bergantung; menyediakan kebutuhan dasar pangan dan nutrisi bagi manusia; layak secara ekonomi; dan meningkatkan kualitas hidup petani dan masyarakat secara keseluruhan. Dari pernyataan ini, muncul banyak definisi, tetapi konsep seputar keberlanjutan pertanian tetap sama, yaitu untuk bisa memberikan kebutuhan makanan dan nutrisi kepada masyarakat pada masa ini dan masa yang akan datang dengan tetap memperhatikan kondisi ekosistem sehingga pada masa depan diharapkan bisa meningkatkan kualitas hidup petani dan masyarakat secara keseluruhan.

MacRae et al. (1993), menjelaskan bahwa konsep dari Pertanian Berkelanjutan lebih tepat dipandang sebagai filosofi manajemen daripada metode operasional dengan standar operasional yang jelas. Namun terlepas dari definisinya, sebagian besar ahli pertanian setuju bahwa konsep Pertanian Berkelanjutan sangat penting bagi

keberlanjutan biosfer kita dan populasi manusia yang terus meningkat. Keberlanjutan bergantung pada fokus gabungan pada perubahan lingkungan dan dampaknya terhadap masyarakat (manusia), lingkungan (planet), dan nilai ekonomi (keuntungan) yang dikenal sebagai konsep *Triple Bottom Line* (TBL). Konsep ini memiliki makna bahwa dalam penerapannya harus tetap memperhatikan keseimbangan dari faktor ekonomi (keuntungan), keadilan sosial bagi petani maupun masyarakat secara umum, dan menjaga kondisi lingkungan dengan memanfaatkan yang sesuai dengan kapasitas jasa ekosistemnya sehingga nantinya dapat mencapai sebuah keberlanjutan (Ihwanudin et al., 2020). Konsep dari *Triple Bottom Line* pada Pertanian Berkelanjutan dapat dilihat pada Gambar 6.1 berikut ini.



Sumber: Kambewa (2007)

Gambar 6.1 Konsep *Triple Bottom Line*

Meskipun definisi dari Pertanian Berkelanjutan sangat beragam sehingga tidak ada konsensus yang sama, tetapi tujuan utamanya tetap sama, yaitu sistem produksi jangka panjang dengan tetap memperhatikan tiga aspek dari *Triple Bottom Line*, yaitu lingkungan,

ekonomi, dan sosial. The Standing Committee on Agriculture and Resource Management (SCARM) tahun 1998, juga menyebutkan bahwa setidaknya ada tiga aspek yang harus diperhatikan oleh Pertanian Berkelanjutan, yaitu:

1. layak secara ekonomi—merespons secara efisien dan inovatif tuntutan saat ini dan masa depan untuk pasokan makanan dan bahan baku yang memadai, aman, dan andal;
2. ramah lingkungan—melestarikan basis sumber daya alam pertanian untuk generasi mendatang, sambil mempertahankan atau meningkatkan ekosistem lain yang dipengaruhi oleh kegiatan pertanian; dan
3. layak secara sosial—memenuhi nilai-nilai masyarakat yang lebih luas, seperti mendukung masyarakat pedesaan dan mengatasi masalah budaya/etika seperti masalah kesejahteraan hewan.

Pertanian Berkelanjutan sekarang diakui sebagai fondasi penting untuk setiap program pembangunan (Barkin, 2001). Menerapkan konsep teoretis Pertanian Berkelanjutan ke dalam praktik tampaknya tidak mudah. Ini merupakan proses jangka panjang dan kompleks (Wahab et al., 2022). Pertanian Berkelanjutan harus secara bersamaan mempertimbangkan masalah sosial, ekonomi, dan lingkungan. Selain dimensi keberlanjutan ini, aspek lebih lanjut perlu dipertimbangkan: tuntutan generasi sekarang dan masa depan (cakrawala waktu keberlanjutan dan kemampuan untuk melanjutkan dari waktu ke waktu) serta tuntutan masyarakat, kewirausahaan (pertanian), dan individu (petani). Semakin banyak tujuan yang dapat dicapai oleh suatu sistem pertanian, semakin berkelanjutan sistem itu. Dengan demikian, keberlanjutan bukan sekadar keadaan tertentu yang harus dicapai. Pembangunan berkelanjutan ini menghadirkan pemahaman dinamis tentang Pertanian Berkelanjutan.

Pelaksanaan pembangunan berkelanjutan memerlukan proses optimalisasi yang berkesinambungan. Implementasinya dalam praktik sangat ambisius, sulit, dan menghadapi banyak kendala dan hambatan. Contohnya adalah adanya kebijakan yang tidak *on point* mengatur Pertanian Berkelanjutan, modal awal yang dibutuhkan cukup besar

yang mana akan sangat memberatkan petani kecil yang ada di desa, penggunaan bahan kimia yang sudah mengakar sebagai solusi mengatasi hama, kecilnya insentif/hasil yang diperoleh sehingga tidak sebanding dengan modal awal yang digunakan, kurangnya jaringan yang dimiliki oleh petani utamanya untuk mendapatkan pengetahuan teknis yang sesuai, dan perbedaan budaya dalam pengolahan lahan (Junior et al., 2022; Rehman & Farooq, 2023). Untuk membangun Pertanian Berkelanjutan dalam skala luas, kita harus mencoba menghilangkan atau mengurangi hambatan ini melalui penguatan kelembagaan, pengembangan sistem yang efektif dan efisien serta mudah diimplementasikan, melakukan serangkaian pendidikan dan pengembangan kapasitas utamanya untuk meningkatkan kemampuan teknis, serta dukungan sosial dan politik seperti kebijakan yang tepat sasaran dan mendukung sehingga dengan demikian dapat menutup kesenjangan yang ada di dalam proses implementasi Pertanian Berkelanjutan (Siebrecht, 2020).

B. Perspektif Pertanian Berkelanjutan

1. Perspektif Lingkungan

Semakin lama, konsep dari Pertanian Berkelanjutan sering dikaitkan dengan pemeliharaan kualitas lingkungan, baik di dalam maupun di luar sektor pertanian. Salah satu kegiatan yang berhubungan dengan lingkungan adalah sistem pertanian komersial modern, yang ditandai dengan pengolahan tanah intensif dan praktik penanaman serta tingginya tingkat mekanisasi dan penggunaan bahan kimia yang telah mengakibatkan erosi tanah dan kehilangan unsur hara dalam jumlah yang berlebihan, merusak kapasitas produktif sumber daya tanah, dan penempatan tanah. Penekanan lebih besar pada penggunaan *input* yang dibeli (Dover, 1987). Sistem pertanian seperti itu semakin dianggap tidak berkelanjutan.

Dalam kasus ini, keberlanjutan didefinisikan sebagai pelestarian kapasitas produktif sumber daya lahan. Interpretasi lain terkait lingkungan tentang keberlanjutan menyangkut efek pertanian

terhadap lingkungan alam di luar gerbang pertanian dan terlepas dari produktivitas lahan pertanian. Pencemaran sumber daya air permukaan dan air tanah akibat pengangkutan pupuk kimia dari lahan pertanian adalah dua keprihatinan umum yang diungkapkan terkait dengan Pertanian Berkelanjutan. Hilangnya habitat spesies dan berkurangnya keanekaragaman hayati juga menjadi perhatian mereka yang berorientasi ekologis menuju keberlanjutan. Berbeda dengan kekhawatiran tentang kapasitas produktif yang berkurang, perspektif ekologis tentang keberlanjutan ini menunjukkan bahwa sumber daya alam harus dilindungi dengan haknya sendiri dan tidak boleh terancam oleh kegiatan pertanian yang tidak ramah lingkungan (Neher, 2018).

2. Perspektif Ekonomi dan Sosial

Selain memastikan produksi pangan jangka panjang dan kualitas lingkungan, konsep keberlanjutan juga diterapkan pada produsen dan masyarakat pedesaan. Keberlanjutan pertanian dapat digambarkan dengan menilai keuntungan ekonomi dari pertanian (Brklacich, 1991). Pertanian Berkelanjutan muncul sebagai bagian dari kritik yang berkembang terhadap konsekuensi negatif terhadap lingkungan dari metode pertanian modern. Dalam perspektif sistem ekonomi, pertanian diharapkan untuk mencapai keuntungan yang besar melalui jumlah produksi dan pembelian yang besar dan pengelolaan yang efisien sehingga hal ini juga berdampak pada biaya pengolahan di dalamnya. Dengan mengombinasikan dengan sistem berkelanjutan, praktik-praktik pertanian yang mengurangi prospek jangka panjang produksi pangan atau merusak kualitas air atau sumber daya alam lainnya dapat dicegah atau minimal dapat dikurangi dampak jangka panjang atau pendeknya sehingga cukup untuk mempertahankan bisnis pertanian dan memberi keuntungan yang memadai kepada petani (Ikerd, 1990).

Perspektif pertanian berkelanjutan yang menegaskan adanya sistem produksi pangan efisien dan distribusi manfaat yang adil akan semakin maksimal ketika sistem pertanian tersebut beroperasi dalam

masyarakat yang kuat. Utamanya dalam mendorong pengambilan keputusan lokal dalam hal pengelolaan pertanian dan menjunjung tinggi nilai-nilai budaya di dalamnya. Menuju sebuah keseimbangan antara lingkungan, ekonomi, dan kesetaraan merupakan karakteristik yang dimiliki oleh Sistem Pertanian Berkelanjutan. Dengan demikian, mengimplementasikan pertanian berkelanjutan sama dengan mengimplementasikan keadilan antar generasi, sebagai contohnya adalah memberikan hak dan kesempatan generasi mendatang untuk memperoleh manfaat dari sumber daya yang digunakan saat ini (Keeney, 1989). Dengan demikian, keadilan antar generasi mengacu pada distribusi manfaat yang adil dan merata dari pertanian antar dan antar negara, wilayah, atau kelompok sosial.

C. Dampak dan Manfaat dari Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia

1. Komponen Lingkungan

Pertanian Terpadu tanpa Limbah memiliki sejumlah manfaat untuk lingkungan maupun manusia, di mana salah satu manfaatnya adalah pengurangan limbah pertanian (Bhagat et al., 2024). Sistem ini mampu mencegah pembuangan sisa-sisa pertanian yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dengan melakukan praktik pola tanam yang baik dan memastikan pemanfaatan sumber daya yang optimal (Datta et al. 2024; FAO, 2024). Implementasi sistem ini juga dipercaya dapat mengurangi produksi gas rumah kaca (GRK).

Penelitian dari Munandar et al. (2015) menunjukkan bahwa kombinasi sistem pertanian tanaman dan peternakan merupakan alternatif untuk mengurangi dampak perubahan iklim melalui sebuah sistem tertutup (*output* komponen 1 menjadi *input* untuk komponen 2), yang mana daur ulang limbah pertanian untuk menghasilkan berbagai produk organik yang mampu menyimpan karbon dalam jangka waktu yang lebih lama dan memperlambat konversi C organik menjadi CO₂.

Pertanian Terpadu tanpa Limbah mendorong penggunaan pupuk organik, seperti kompos dan pupuk kandang daripada pupuk sintetis, yang menghasilkan peningkatan kesehatan tanah. Penambahan bahan organik ke tanah memperbaiki strukturnya, meningkatkan kapasitasnya untuk menahan air, dan mendorong aktivitas mikroorganisme yang bermanfaat, yang pada akhirnya menghasilkan tanah yang lebih sehat dan peningkatan produktivitas dalam jangka panjang. Selain itu, teknik ini menghentikan kerusakan tanah yang disebabkan oleh penggunaan bahan kimia secara berlebihan.

Implementasi Pertanian Terpadu tanpa Limbah mampu berkontribusi pada konservasi air dengan memanfaatkan sumber daya secara efektif dan menggabungkan teknologi yang menghemat air selama irigasi (Moraine et al., 2014). Petani dapat mengurangi jumlah air yang terbuang dan mengamankan pasokan air yang berkelanjutan untuk tanaman dan ternak mereka jika mereka mendaur ulang limbah hewan dan menggunakannya untuk keperluan irigasi (Mishra et al., 2023).

Kelangkaan air menjadi isu yang semakin mendesak di sejumlah lokasi di Indonesia, terutama di wilayah yang produktif secara pertanian dan padat penduduk, seperti Jawa dan Bali. Berdasarkan penelitian dari Chairunnisa et al. (2021), terjadi peningkatan kebutuhan air di Pulau Jawa dan Bali dengan ketersediaan air di masing-masing pulau tersebut menurun 2,5% untuk Pulau Jawa dan 3,38% untuk Pulau Bali (dari periode waktu 1991–2020 dan 2021–2050). Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang mengombinasikan komponen sosial ekonomi, lingkungan dan teknologi, menjadi salah satu alternatif pencegah kelangkaan air melalui serangkaian praktik penghematan air, seperti pengumpulan air hujan, irigasi tetes, dan daur ulang air limbah (Ingrao et al., 2023).

Selain itu, Pertanian Terpadu tanpa Limbah memfasilitasi budidaya tanaman, ternak, dan akuakultur, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan keanekaragaman hayati di pertanian (Bhagat et al., 2024). Dengan membangun berbagai habitat, seperti kolam untuk akuakultur, sistem agroforestri, dan area penggembalaan bergilir,

Pertanian Terpadu tanpa Limbah berkontribusi pada pelestarian flora dan fauna asli sekaligus meningkatkan keanekaragaman hayati (Bhati et al., 2024).

Indonesia merupakan salah satu negara dengan keanekaragaman hayati tertinggi di dunia; namun, penyebaran pertanian telah mengakibatkan kerusakan hutan dan penurunan keanekaragaman hayati (Noor, 2023). Program Pertanian Terpadu tanpa Limbah berpotensi membantu membalikkan tren hilangnya keanekaragaman hayati dengan mendorong agroforestri, pertanian organik, dan konservasi habitat. Pelestarian spesies dan habitat lokal didukung oleh penggabungan pohon, tanaman, hewan, dan akuakultur, yang berkontribusi pada upaya Indonesia untuk mencapai tujuan keberlanjutan lingkungannya.

2. Komponen Ekonomi

Salah satu keuntungan ekonomi utama dari Pertanian Terpadu Tanpa Limbah adalah pengurangan biaya yang diakibatkan oleh berkurangnya ketergantungan pada sumber daya eksternal, seperti pupuk dan herbisida tambahan (Khobragade et al., 2021). Meningkatnya harga *input* pertanian, seperti pupuk kimia, insektisida, dan pakan ternak menjadi tantangan bagi banyak petani kecil di Indonesia. Dengan mendaur ulang limbah organik di tempat dan memproduksi pupuk dan pakan alami, Pertanian Terpadu Tanpa Limbah menawarkan pengganti yang cukup terjangkau. Bagi petani terutama yang memiliki keterbatasan, hal ini dapat sangat meringankan beban keuangan mereka. Sistem ini mengurangi kebutuhan akan pupuk sintetis, pestisida, dan bensin yang mahal dengan menjadi swasembada pupuk organik, pakan ternak, dan energi terbarukan.

Dengan memproduksi beberapa barang, termasuk tanaman pangan, ternak, ikan, biogas, dan kompos, Pertanian Terpadu tanpa Limbah memberi petani peluang untuk mendiversifikasi sumber pendapatan mereka. Melalui implementasi sistem ini, adanya diversifikasi pendapatan sangat membantu petani Indonesia. Selain padi, petani juga dapat membudidayakan ikan, beternak sapi, dan

menghasilkan energi terbarukan termasuk biogas. Petani dapat meningkatkan seluruh pendapatan mereka dengan memproduksi beberapa barang dan mengurangi kerentanan mereka terhadap perubahan pasar. Selain itu, produk bernilai tambah, seperti sayuran organik, telur ayam kampung, dan ikan dapat memperoleh harga yang lebih tinggi di pasar lokal dan internasional sehingga membantu Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia menjadi menguntungkan. Dengan membantu petani mengurangi risiko yang terkait dengan gagal panen dan perubahan pasar, diversifikasi ini menjamin pendapatan yang lebih stabil.

Daur ulang hara dan integrasi beberapa komponen pertanian membantu meningkatkan hasil pertanian secara umum. Pupuk organik, misalnya, meningkatkan hasil panen; Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) menurunkan kerugian panen yang disebabkan oleh penyakit dan hama. Sumber makanan dan pendapatan lebih lanjut berasal dari ternak dan akuakultur, yang membantu petani menjadi lebih menguntungkan. Pertanian Terpadu tanpa Limbah memberikan peluang petani monokultur di Sumatra, Jawa, dan Kalimantan untuk beralih ke teknik pertanian yang lebih berkelanjutan. Pertanian Terpadu tanpa Limbah juga dapat meningkatkan produksi jangka panjang dengan meningkatkan kesehatan tanah, mengurangi ketergantungan pada *input* kimia, dan meningkatkan siklus nutrisi sehingga sistem pertanian Indonesia terus produktif dan berkelanjutan untuk generasi mendatang,

3. Komponen Sosial

Pertanian Terpadu tanpa Limbah meningkatkan hasil pertanian dan menghasilkan berbagai macam produk pangan sehingga meningkatkan ketahanan pangan. Menggabungkan akuakultur, ternak, dan tanaman pangan membantu petani menciptakan pola makan lengkap yang mengandung sayur-sayuran, buah-buahan, biji-bijian, daging, telur, dan ikan sehingga meningkatkan gizi di daerah pedesaan. Ketidakamanan pangan masih menjadi masalah besar di Indonesia karena populasi penduduk yang berkembang pesat.

Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat membantu menyediakan pasokan makanan yang stabil dengan memelihara berbagai macam tanaman pangan, ternak, dan ikan yang sehat. Makanan dengan kualitas gizi yang lebih baik merupakan manfaat lain dari praktik pertanian organik yang berafiliasi dengan Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang meningkatkan kesehatan masyarakat.

Karakter Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang padat karya memberikan peluang kerja di daerah pedesaan. Lebih jauh, penerapan Pertanian Terpadu tanpa Limbah terkadang memerlukan inisiatif berbagi pengetahuan dan pengembangan kapasitas, yang dapat memberdayakan petani dengan meningkatkan kompetensi mereka dalam metode pertanian yang ramah lingkungan. Banyak orang di pedesaan Indonesia bergantung pada pertanian sebagai mata pencaharian mereka, dan Pertanian Terpadu tanpa Limbah berpotensi menciptakan peluang kerja baru di sektor ini. Pengomposan, peternakan, akuakultur, dan pertanian organik hanyalah beberapa contoh industri Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang padat karya dan dapat membantu meningkatkan ekonomi pedesaan dan menciptakan lapangan kerja. Hal lain yang dipromosikan dari sistem pertanian ini adalah pertanian koperasi, yang dapat membantu menyatukan orang-orang dan memberi petani suara di komunitas mereka.

Pertanian Terpadu tanpa Limbah mendorong peningkatan kapasitas sistem pertanian untuk dapat bertahan dari ancaman yang terkait dengan perubahan iklim, seperti wabah serangga, banjir, dan kekeringan. Integrasi dari berbagai komponen (tanaman, ternak, dan perikanan) berkontribusi terhadap terciptanya sistem ekologi yang seimbang yang mengarah pada peningkatan produktivitas (Altieri et al., 2015). Ketika produktivitas meningkat, hal ini secara tidak langsung akan memperkuat ketahanan mata pencaharian dari petani melalui diversifikasi produk yang tidak hanya berfokus pada bahan mentah, tetapi juga pada barang jadi. Dengan demikian, sistem ini dapat dikatakan menjadi inisiator kesejahteraan sosial di kalangan petani dan mengurangi kerentanan ekonomi akibat fluktuasi pasar yang disebabkan oleh krisis iklim atau pengelolaan yang tidak berkelanjutan (Rhofita, 2022).

D. Peluang Perkembangan Pertanian Berkelanjutan di Indonesia

Bagi negara agraris seperti Indonesia, peran sektor pertanian sangat penting dalam menunjang perekonomian nasional. Hal ini ditunjukkan dengan perannya dalam pembentukan modal, penyediaan bahan pangan, bahan baku industri, pakan dan bioenergi, penyerapan tenaga kerja, sumber devisa, serta sumber pendapatan karena sebagian besar mata pencaharian masyarakat Indonesia bergantung pada sektor pertanian dan lingkungan. Pembangunan pertanian di Indonesia telah berjalan dengan baik selama empat dekade terakhir. Namun, total produksi belum memenuhi seluruh kebutuhan pangan dalam negeri dan sebagian besar petani masih berada di kalangan masyarakat berpenghasilan rendah. Selain itu, peningkatan *input* bahan kimia dan pupuk dalam beberapa sistem produksi pertanian dapat menimbulkan ancaman bagi kawasan alami di sekitar lahan pertanian. Oleh karena itu, menatap masa depan, tantangan nyata pertanian adalah terus meningkatkan produksi sekaligus meminimalkan kerusakan lingkungan dan melestarikan sumber daya, serta mengurangi kemiskinan, kelaparan, dan kekurangan gizi (Syuaib, 2016).

Salah satu peluang yang bisa dimanfaatkan dalam pengembangan Pertanian Berkelanjutan di Indonesia adalah penggunaan teknologi modern. Banyak teknologi modern yang dikembangkan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi pertanian, seperti teknologi pengendalian hama dan penyakit tanaman. Sejumlah jurnal menyebutkan bahwa aplikasi teknologi modern tersebut mampu meningkatkan produktivitas tanaman secara signifikan serta mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida (Nawang Sari, 2024; Widyaningsih et al., 2025). Meskipun demikian, Saputro et al., 2024 menyatakan bahwa keberhasilan teknologi modern dalam pengembangan pertanian berkelanjutan harus didukung oleh komitmen pemerintah dan pengetahuan teknis petani.

Selain teknologi modern, implementasi pertanian berkelanjutan di Indonesia juga membutuhkan pendekatan partisipatif. Pendekatan

partisipatif dimaksudkan untuk memperkuat peran masyarakat dalam pengambilan keputusan dan pelaksanaan program pertanian. Partisipasi masyarakat diperlukan untuk memastikan kelangsungan program, memastikan keberlanjutan produksi pertanian, dan memperkuat ekonomi masyarakat lokal. Penelitian dari Reed (2008), Takagi (2024), Yusriadi (2025) menegaskan bahwa keterlibatan langsung dari masyarakat lokal secara signifikan berdampak pada keberhasilan pengembangan pertanian berkelanjutan. Hal ini karena masyarakat dilibatkan secara langsung dari fase perencanaan hingga implementasi sehingga dapat meningkatkan rasa memiliki terhadap praktik tersebut yang berakibat pada semakin berkelanjutannya program pertanian integrasi ini yang kemudian memperluas manfaat sosial ekonomi dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.

Selanjutnya, pengembangan pertanian berkelanjutan di Indonesia juga harus memperhatikan perubahan iklim dan mitigasi dampak lingkungan. Perubahan iklim menjadi masalah global yang memengaruhi pertanian di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Dalam rangka memitigasi dampak perubahan iklim, penerapan pertanian berkelanjutan harus mengedepankan penerapan sistem pertanian organik dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Beberapa jurnal menyebutkan bahwa penggunaan sistem pertanian organik mampu meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi penggunaan pestisida dan pupuk sintetis. Pengurangan penggunaan pestisida dan pupuk sintetis berkontribusi dalam pengurangan emisi gas rumah kaca sehingga membantu memperbaiki kondisi lingkungan.

Pengembangan pertanian berkelanjutan di Indonesia juga membutuhkan pengembangan ekonomi pedesaan. Peningkatan ekonomi pedesaan dapat diwujudkan melalui pemberdayaan masyarakat pedesaan melalui diversifikasi ekonomi dan komoditas pertanian. Peningkatan ekonomi pedesaan akan membuat masyarakat lebih mandiri dan dapat menopang kemajuan perekonomian nasional. Selaras dengan hal tersebut, pemberdayaan masyarakat pedesaan, khususnya perempuan dan pemuda, dapat meningkatkan produktivitas pertanian serta mengurangi kemiskinan dan kesenjangan sosial (Irawan, 2023)

Di akhir, peluang pengembangan pertanian berkelanjutan di Indonesia memiliki potensi yang besar dalam memperkuat perekonomian nasional dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat pedesaan. Perlu dipahami bahwa pertanian berkelanjutan merupakan bagian penting dari solusi perubahan iklim serta pencapaian pembangunan berkelanjutan sehingga diperlukan adanya komitmen pemerintah, partisipasi masyarakat, penggunaan teknologi modern, mitigasi dampak lingkungan, dan pemberdayaan masyarakat pedesaan untuk mengembangkan pertanian berkelanjutan di Indonesia secara efektif dan efisien (Saputro et al., 2024). Dengan demikian, keberhasilan pengembangan pertanian berkelanjutan di Indonesia akan meningkatkan kualitas hidup masyarakat sekaligus membawa dampak positif bagi keberlanjutan lingkungan.

E. Faktor Pengembangan Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia

Indonesia termasuk negara agraris, dengan 49% penduduknya bergerak di bidang pertanian. Ketahanan gizi dan pertumbuhan ekonomi negara sebagian besar bergantung pada pertanian. Namun, sektor ini menghadapi sejumlah kendala, termasuk degradasi lahan, penurunan kesuburan tanah, dan perubahan iklim. Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi pergeseran menuju praktik Pertanian Berkelanjutan dalam upaya mengatasi tantangan tersebut dan memastikan ketahanan pangan. Salah satu solusi yang dapat ditawarkan untuk bisa mengatasi permasalahan tersebut dan juga mencapai pembangunan Pertanian Berkelanjutan adalah inisiasi dari konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah.

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi laju perkembangan dan implementasi dari konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia berikut ini.

1. Regulasi Pemerintah Indonesia

Indonesia telah fokus terhadap pembangunan berkelanjutan melalui berbagai inisiatif pemerintah, termasuk Rencana Aksi

Pemerintah untuk Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dan agenda Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Peraturan ini menetapkan kerangka kerja yang kuat untuk memajukan Pertanian Terpadu tanpa Limbah dalam rencana Indonesia untuk mengurangi dampak lingkungannya dan menumbuhkan industri pertanian yang tangguh.

Perkembangan Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia sangat dipengaruhi oleh regulasi pemerintah yang mendukung dan kerangka kelembagaan yang kuat. (Djibrin et al., 2023) menyoroti pentingnya intervensi kebijakan yang mempromosikan pendekatan pertanian terpadu dan memberikan insentif bagi petani untuk mengadopsinya. Selain itu, pembentukan lembaga-lembaga khusus dapat memfasilitasi penerapan dan pemantauan sistem pertanian terpadu dan memastikan keberhasilan jangka panjangnya. Pemerintah telah menerapkan kebijakan yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan pangan dan mempromosikan pertanian berkelanjutan. Kebijakan tersebut meliputi dukungan keuangan untuk petani, bantuan teknis, dan insentif untuk penerapan praktik pertanian berkelanjutan. Pemerintah juga telah memperkenalkan kebijakan yang bertujuan untuk meningkatkan akses ke pasar bagi petani skala kecil. Hal ini mengarah pada pengembangan rantai nilai yang mendukung sistem pertanian terpadu serta mempromosikan investasi dan kemitraan.

2. Ketersediaan Sumber Daya

Untuk Pertanian Terpadu tanpa Limbah, Indonesia memiliki banyak sumber daya terbarukan, seperti biomassa organik, air, dan sinar matahari serta unsur-unsur lainnya. Keragaman negara ini dan zona agroklimatnya yang beragam memberikan peluang untuk menerapkan teknik pertanian terpadu yang memanfaatkan sumber daya yang tersedia dengan sebaik-baiknya. Di beberapa wilayah di Indonesia, misalnya, pembangkit biogas dari kotoran sapi dan irigasi menggunakan energi matahari merupakan pilihan yang realistis.

Pertanian Terpadu tanpa Limbah mengandalkan ketersediaan sumber daya, seperti air, benih, pupuk, dan ternak. Di Indonesia, ketersediaan sumber daya menjadi faktor kunci dalam pengadopsian sistem ini. Misalnya, penggunaan tanaman polongan dalam sistem telah dilihat sebagai cara ideal untuk meningkatkan kesuburan tanah tanpa menggunakan pupuk sintetis. Peternakan juga menjadi komponen penting dari sistem pertanian terpadu, menyediakan pupuk kandang untuk pupuk dan berkontribusi pada produksi tanaman organik. Di Indonesia, ketersediaan sumber daya ternak merupakan hal yang krusial dalam pengembangan sistem peternakan terpadu, terutama di pedesaan.

3. Teknologi

Teknologi telah memainkan peran penting dalam pengembangan sistem pertanian terpadu di Indonesia. Pengenalan teknologi baru, seperti pertanian presisi, hidroponik, dan pertanian rumah kaca telah merevolusi sektor pertanian. Sebagai contoh dari penerapan pertanian presisi telah membantu petani memaksimalkan produktivitas dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Menggunakan analitik data dan sensor, petani dapat menentukan penggunaan pupuk, pestisida, dan air yang optimal, menghasilkan hasil yang lebih tinggi dan mengurangi dampak lingkungan.

4. Akses kepada Pasar

Akses ke pasar sangat penting untuk keberhasilan sistem pertanian terpadu di Indonesia. Sistem membutuhkan rantai nilai yang mendukung produksi, pengolahan, dan pemasaran tanaman dan ternak. Di Indonesia, pengembangan pasar pangan lokal berperan penting dalam mendukung sistem pertanian terpadu. Pasar-pasar ini menyediakan hubungan langsung antara petani dan konsumen, memastikan harga yang adil dan produk berkualitas. Mereka juga membantu mempromosikan praktik pertanian berkelanjutan dengan menekankan pentingnya mengurangi dampak lingkungan. Integrasi petani ke dalam pasar dan rantai nilai yang berfungsi dengan baik sangat penting untuk kelangsungan ekonomi sistem pertanian terpadu. Menurut

Asmarantaka et al. (2017) perlu pendekatan berorientasi pasar yang menghubungkan petani dengan konsumen, pengolah, dan pelaku lain dalam rantai nilai pertanian. Petani diberi insentif untuk mengadopsi praktik pertanian terpadu dan terlibat dalam aktivitas bernilai tambah melalui peluang pasar, harga yang adil, dan infrastruktur pasar yang mendukung.

Permintaan kalangan pelanggan perkotaan Indonesia akan pangan yang diproduksi secara berkelanjutan semakin meningkat. Petani yang menggunakan Pertanian Terpadu tanpa Limbah memiliki peluang untuk menjangkau pasar premium dan memperoleh keuntungan dari meningkatnya permintaan akan barang organik. Pemerintah Indonesia pun dapat memanfaatkan tren ini dengan menggunakan produk dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah dan mempermudah akses pasar bagi petani kecil.

5. Keterlibatan Masyarakat

Keterlibatan masyarakat telah menjadi faktor penting dalam pengembangan sistem pertanian terpadu di Indonesia. Petani di berbagai daerah pedesaan bekerja sama secara kolektif serta berbagi sumber daya dan pengetahuan. Pendekatan berbasis masyarakat telah membantu penerapan praktik pertanian berkelanjutan dan promosi sistem pertanian terpadu. Keterlibatan masyarakat dalam pengembangan sistem ini telah membantu transfer pengetahuan dan keterampilan, yang berkontribusi pada keberhasilan sistem.

Indonesia memiliki warisan sistem pertanian berbasis masyarakat yang kaya, seperti pertanian ladang di Kalimantan hingga sistem subak di Bali. Beberapa kearifan lokal seperti pengambilan keputusan kelompok, pembagian sumber daya, dan kerja sama tim (prinsip-prinsip yang sesuai dengan Pertanian Terpadu tanpa Limbah mencerminkan bahwa sistem ini dapat dimasukkan ke dalam sistem pertanian berbasis masyarakat saat ini dengan memperkaya metode-metode konvensional dengan teknologi baru sehingga meningkatkan penerimaan dan adopsi di masyarakat.

6. Dukungan Organisasi Nirlaba dan Pembangunan
Banyak lembaga swadaya masyarakat dan lembaga pembangunan asing yang bekerja secara aktif untuk memajukan pembangunan pedesaan dan pertanian berkelanjutan di Indonesia. Melalui dukungan teknis, inisiatif peningkatan kapasitas, dan sumber daya keuangan bagi petani dan masyarakat pedesaan, kelompok-kelompok ini dapat secara signifikan membantu penerapan Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Percepatan peralihan ke sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia akan bergantung pada kerja sama antara pemerintah, LSM, dan pelaku sektor komersial.

Sistem pertanian terpadu telah mendapatkan popularitas dalam beberapa tahun terakhir di Indonesia karena kemampuannya untuk mengatasi tantangan yang dihadapi sektor pertanian. Pengembangan sistem ini telah difasilitasi oleh kebijakan pemerintah, ketersediaan sumber daya, teknologi, akses pasar, dan keterlibatan masyarakat. Penerapan sistem pertanian terpadu di Indonesia merupakan solusi menjanjikan bagi pertanian berkelanjutan yang dapat membantu menjawab tantangan yang dihadapi sektor pertanian. Selain itu, dibutuhkan adanya pendekatan multi aspek yang mencakup dukungan kebijakan, kesadaran petani, pertukaran pengetahuan, akses sumber daya, dan keterkaitan pasar untuk dapat mendorong keberhasilan praktik Pertanian Terpadu tanpa Limbah untuk mewujudkan adanya pertanian berkelanjutan serta meningkatkan peluang ketahanan pangan dan ekonomi Indonesia.

BAB VII

STRATEGI MEWUJUDKAN PERTANIAN SIRKULAR YANG BERKELANJUTAN

A. Implementasi Sistem menuju Ekonomi Sirkular

Dalam bidang pertanian, gagasan ekonomi sirkular menandakan perubahan dramatis dari metode pertanian tradisional yang linier, melalui penggunaan kembali bahan-bahan secara terus-menerus di dalam sistem pertanian. Gagasan ini mendorong minimalisasi limbah melalui peningkatan kemampuan regeneratif alam yang berdampak pada efisiensi penggunaan sumber daya alam dan hal ini sangat sesuai dengan praktik Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah, yang menjadi fokus utama buku ini. Selain memaksimalkan penggunaan sumber daya, Pertanian Terpadu tanpa Limbah juga mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (Biadala et al., 2024), memberikan peluang dalam penyelesaian permasalahan di sektor pertanian, khususnya di Indonesia (Prasetyo & Mauludin, 2016; Nababan & Regina, 2021), dan menciptakan jalur baru untuk kemajuan ekonomi.

Dalam konteks ini, penerapan ekonomi sirkular dalam pertanian menjadi keharusan. Pertanian sirkular dapat mengurangi dampak

lingkungan dan memperkuat ketahanan pangan dengan menekankan pemulihan sumber daya, pengurangan limbah, dan pemulihan sistem alam. Pertanian Terpadu tanpa Limbah sebagai bagian dari pertanian hijau bertujuan untuk memaksimalkan limbah untuk *input* dari produk lainnya, atau dalam arti lainnya ini membuat Pertanian Terpadu tanpa Limbah dapat meminimalkan proses *input-output* yang ada dalam sebuah sistem sehingga dapat meminimalkan limbah pertanian yang mengarah ke ekonomi yang lebih hijau di bidang pertanian (Broman & Robert, 2017; Lal et al., 2020).

Pertanian Terpadu tanpa Limbah juga melibatkan intensifikasi pertanian, diversifikasi, dan penambahan nilai dalam prosesnya dengan tujuan akhir adalah membantu meningkatkan akses fisik dan ekonomi terhadap pangan sehingga mendorong ketahanan pangan berkelanjutan di tingkat setiap individu dalam rumah tangga atau komunitas (Selvan et al., 2023). Praktik ini tergolong ke dalam sebuah matriks yang kompleks yang terdiri atas elemen tanah, air, tanaman, hewan, dan lingkungan yang saling terkait yang kemudian berinteraksi, memungkinkan terciptanya sistem yang lebih optimal dan menguntungkan dibandingkan sistem pertanian lainnya (pertanian linier). Tentu saja ini akan berdampak pada hasil produksi yang lebih berkualitas (dengan catatan pengelolaan yang dilakukannya sudah benar). Interaksi dan terpadu menjadi kata kunci dalam sistem ini, di mana limbah dari satu komponen menjadi *input* bagi komponen sistem yang lain, mengurangi kebutuhan untuk membeli dan menggunakan *input* yang mahal dan berpotensi menimbulkan polusi, seperti bahan bakar, pupuk dan pestisida, mengurangi polusi ke lingkungan dan meningkatkan produksi atau pendapatan secara keseluruhan.

1. Sistem yang mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan

Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah secara langsung memfasilitasi pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Datta et al, 2024) tertentu yang ditetapkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa pada tahun 2015. Pertanian Terpadu tanpa Limbah secara khusus dikaitkan dengan

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ke-2, Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ke-12, Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ke-13, dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ke-15. Secara lebih detail akan dijelaskan di bawah ini.

a. Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ke-2: Pemberantasan Kelaparan

Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah sangat penting untuk mencapai ketahanan pangan dengan meningkatkan produksi pertanian dan membina sistem pangan yang berkelanjutan. Aspek mendasar dari Pertanian Terpadu tanpa Limbah adalah penggabungan tanaman pangan, ternak, dan akuakultur, yang menghasilkan produksi yang beragam. Keragaman ini meningkatkan kualitas gizi hasil pertanian, menyediakan akses bagi penduduk pedesaan dan perkotaan terhadap berbagai produk pangan. Lebih jauh lagi, dengan meningkatkan kesehatan tanah dan mengurangi ketergantungan pada masukan kimia, Pertanian Terpadu tanpa Limbah menjamin produktivitas sistem pertanian yang berkelanjutan sehingga mengurangi bahaya degradasi tanah dan gagal panen (Suwardike & Prabawa, 2024; Wihardjaka, 2018).

b. Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ke-12: Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab

Konsep Pertanian Terpadu tanpa Limbah pada dasarnya terkait dengan tujuan konsumsi dan produksi yang berkelanjutan. Pertanian Terpadu tanpa Limbah secara nyata menurunkan produksi limbah dengan mendaur ulang sisa-sisa pertanian, kotoran hewan, dan sumber daya air dalam sistem pertanian. Misalnya, limbah tanaman yang biasanya dibakar atau dibuang dimanfaatkan untuk menghasilkan kompos atau pakan ternak, dan limbah ternak diubah untuk menghasilkan biogas atau sebagai pupuk organik. Sistem *loop* tertutup ini sesuai dengan model ekonomi sirkular, di mana semua keluaran digunakan kembali atau didaur ulang, memastikan tidak ada yang terbuang (Arora & Mishra, 2023; Atapattu et al., 2024),

- c. Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ke-13: Aksi Iklim Pertanian berkontribusi secara signifikan terhadap emisi gas rumah kaca global. Meskipun demikian, Pertanian Terpadu tanpa Limbah menyediakan sarana untuk mengurangi dampak tersebut. Pertanian Terpadu tanpa Limbah mengurangi jejak karbon dari praktik pertanian dengan meminimalkan penggunaan pupuk dan pestisida sintetis, meningkatkan kemampuan penyimpanan karbon melalui sistem agroforestri, dan mengurangi emisi metana dari hewan melalui pengelolaan limbah yang lebih baik. Selain itu, memprioritaskan kesehatan tanah dan pelestarian bahan organik meningkatkan kemampuan tanah untuk berfungsi sebagai penyerap karbon sehingga membantu inisiatif mitigasi perubahan iklim (Mishra et al., 2023; Zhao et al., 2025).
- d. Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ke-15: Kehidupan di Darat Penurunan keanekaragaman hayati merupakan masalah lingkungan yang signifikan yang terkait dengan praktik pertanian kontemporer. Sistem monokultur yang lazim dalam pertanian skala besar mengurangi keanekaragaman hayati dengan mengganti ekosistem yang beragam dengan lanskap pertanian yang seragam. Sebaliknya, Pertanian Terpadu tanpa Limbah mendorong penggabungan berbagai spesies tumbuhan dan hewan sehingga menciptakan lingkungan untuk berbagai macam organisme. Keanekaragaman ini meningkatkan layanan ekosistem, termasuk penyerbukan, pengaturan hama alami, dan kesuburan tanah, sekaligus melestarikan spesies asli dan menjaga satwa liar (Robinson, 2024; Kumar et al., 2025).

B. Langkah Positif Indonesia dalam Pengembangan Sektor Pertanian

Indonesia, sebagai salah satu produsen pertanian terbesar di dunia, memiliki peluang besar untuk mengadopsi Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah dalam skala luas. Semakin berkurangnya luasan lahan pertanian karena adanya alih fungsi lahan, berpotensi mendorong

terjadinya ketidakseimbangan antara permintaan dan produksi, serta secara massal dapat berdampak pada penurunan kesejahteraan petani yang ada di Indonesia. Padahal, menurut data dari BPS (2021) melalui Survei Pertanian Terintegrasi (SITASI) terdapat 72,19% petani di Indonesia tergolong petani skala kecil. Akan tetapi, banyak petani kecil berjuang melawan penurunan produksi, keterbatasan akses terhadap teknologi, dan kerentanan terhadap volatilitas pasar (Johann von Loeper et al., 2018; Touch et al., 2024). Hal ini telah menjadi permasalahan yang mendasar dari salah satu sektor yang menyumbang PDB terbesar untuk Indonesia sehingga dibutuhkan adanya peralihan dari sistem pertanian yang kurang efektif dan efisien menjadi sistem pertanian yang lebih efektif, efisien, tepat guna, dan berkontribusi ke dalam kelestarian ekosistem.

Pertanian Terpadu tanpa Limbah menyediakan kerangka kerja yang meningkatkan mata pencaharian petani kecil dengan mengurangi ketergantungan mereka pada *input* kimia yang mahal dan mendiversifikasi aliran pendapatan mereka. Desain Pertanian Terpadu tanpa Limbah yang komprehensif memungkinkan petani untuk berpartisipasi dalam berbagai usaha pertanian, termasuk pemeliharaan ternak, budidaya tanaman, dan pengelolaan kolam ikan. Diversifikasi ini meningkatkan stabilitas pendapatan dan memaksimalkan pemanfaatan sumber daya pertanian. Petani dapat memanfaatkan kotoran ternak untuk menyuburkan tanaman sehingga mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia, sementara sisa tanaman dapat digunakan sebagai pakan ternak atau diubah menjadi biogas untuk produksi energi. Metodologi siklus tertutup ini meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan keseluruhan operasi pertanian petani kecil.

Lebih jauh lagi, meningkatnya permintaan Indonesia akan bahan makanan organik dan yang diproduksi secara berkelanjutan menawarkan peluang ekonomi bagi petani yang menggunakan Pertanian Terpadu tanpa Limbah. Produk organik memiliki harga yang lebih tinggi di pasar domestik dan internasional serta memberikan petani kecil peluang untuk meningkatkan pendapatan mereka. Bantuan pemerintah melalui program sertifikasi, koneksi pasar, dan layanan

penyuluhan dapat meningkatkan adopsi Pertanian Terpadu tanpa Limbah dan memfasilitasi akses petani ke pasar yang menguntungkan. Pertanian Terpadu tanpa Limbah juga dapat mengurangi degradasi lahan dan memulihkan keanekaragaman hayati di lanskap pertanian melalui metode pengelolaan lahan yang berkelanjutan, termasuk agroforestri dan pertanian organik. Lebih jauh, Pertanian Terpadu tanpa Limbah menawarkan solusi dalam mengatasi masalah limbah pertanian.

Pergeseran ke praktik ekonomi sirkular melalui Pertanian Terpadu tanpa Limbah di Indonesia memberikan peluang dan dampak positif yang signifikan (lihat pada Bab III). Mendukung hal tersebut, Pemerintah Indonesia telah mengadopsi beberapa peraturan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan yang menyeimbangkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan yang tertuang di dalam beberapa regulasi (baca Bab 1). Dengan melaksanakan inisiatif ini, Indonesia dapat mencapai tujuan pembangunan nasional sekaligus membantu upaya global untuk membangun sistem pangan yang lebih berkelanjutan dan tangguh untuk masa depan. Akhirnya, jalan menuju Sistem Pertanian Terpadu tanpa Limbah tidak hanya menawarkan sarana keberlanjutan, tetapi juga kesempatan untuk mendefinisikan ulang metode pertanian sehingga dapat memberi manfaat bagi bumi serta manusia pada tahun-tahun mendatang.

DAFTAR SINGKATAN DAN AKRONIM

BPLH	: Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup
IFS	: Integrated Farming System
PDB	: Produk Domestik Bruto
PHT	: Pengelolaan Hama Tanaman
PTT	: Pengelolaan Tanaman Terpadu
PVC	: Polivinil klorida
SDGs	: Sustainable Development Goals
SPT	: Sistem Pertanian Terpadu
VOC	: Vereenigde Oostindische

Buku ini tidak diperjualbelikan

GLOSARIUM

- 3R** : “*reduce, reuse, recycle*” merupakan maksud penanganan sampah yang terdiri dari tiga unsur, yaitu, “mengurangi”, “menggunakan ulang” dan “mendaur ulang” sampah (juga dikenal sebagai 3R).
- Agraris** : negara yang mayoritas penduduknya bermata pencaharian di sektor pertanian.
- Cultuurstelsel** : sistem tanam paksa.
- Degradasi** : istilah yang berkaitan dengan sebuah penurunan, kemunduran, ataupun kemerosotan.
- Diversifikasi** : satu strategi memaksimalkan profit dengan memproduksi banyak produk.
- Ekonomi Sirkular** : sistem atau model ekonomi yang bertujuan untuk menghasilkan pertumbuhan ekonomi dengan mempertahankan nilai produk, bahan, dan sumber daya dalam perekonomian selama mungkin sehingga meminimalkan kerusakan sosial dan lingkungan yang disebabkan oleh pendekatan ekonomi linear.
- Holistik** : cara pandang yang menyeluruh atau secara keseluruhan.
- Integrasi** : proses atau tindakan untuk menyatukan komponen lebih kecil ke dalam satu sistem.
- Multiplier Effect** : efek yang muncul ketika suatu tindakan dilakukan.
- PDB** : Produk Domestik Bruto (PDB) adalah nilai pasar seluruh barang dan jasa yang dihasilkan oleh suatu negara dalam suatu periode waktu tertentu. PDB menjadi indikator untuk mengetahui kondisi ekonomi sebuah negara.

- Pembangunan Berkelanjutan** : upaya sadar dan terencana yang memadukan aspek lingkungan hidup, sosial, dan ekonomi ke dalam strategi pembangunan untuk menjamin keutuhan lingkungan hidup serta keselamatan, kemampuan, kesejahteraan, dan mutu hidup generasi masa kini dan generasi masa depan.
- Prototipe** : penerapan untuk desain produk yang akan dibuat, kata lainnya adalah gambaran awal dari sebuah produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, W. (2024). "Konflik Sengketa Lahan dan Strategi Penyelesaian di Indonesia". *Jurnal Kolaborasi Resolusi Konflik*, 6(1), 8–18. <https://doi.org/10.24198/jkrk.v6i1.53280>
- Adri, W., Sabri, L.M., Wahyuddin, Y. (2021). "Pembuatan Peta Jalur Evakuasi Bencana Gunung Api dan Persebaran Lokasi Shelter Menggunakan Metode Network Analyst (Studi Kasus: Gunung Merapi, Boyolali-Magelang)". *Jurnal Geodesi Undip*, 10, 1, 189–196.
- Afriansyah, Kembauw, E., dkk. (2021). *Prinsip Dasar Ekonomi Pertanian*. Eureka Media Aksara. Purbalingga.
- Ahmed, N., & Garnett, S. T. (2011). "Integrated Auaculture–Agriculture Systems in Developing Countries: A Review". *Agricultural Systems*, 104(6), 459–468. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.05.002>
- Akter, S., Ahmed, J.U., Begum, I.A., Sarkar, M.A.R., Fatema, K., Mahmud, A., Ding, S., Alam, M.J. (2025). "Integrated Farming System-A Means of Improving Farmers' Well-bBing in the Wetland Ecosystem of Bangladesh". *Farming System*, 3,1.
- Al Mamun, S., Nusrat, F., & Debi, M. R. (2011). "Sistem Pertanian Terpadu: Prospek di Bangladesh". *Jurnal Lingkungan, Sci. & Sumber Daya Alam*, 4(2), 127–136.
- Al Rizki, R.B., Setyaningsih, M., Meitiyani, M., Irdalisa, I. (2021). "The Effect of Feeding Maggot Fluor (*Hermetia illucens*) on Fish Feed for Growth of Sangkuriang Catfish (*Clarias sp*)". *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 755.
- Al Rovik, O. B., & Purnomo, D. (2025). "Dampak Alih Fungsi Lahan Pertanian Terhadap Ketahanan Pangan Di Provinsi Jawa Tengah 2020-2024". *Community Engagement & Emergence Journal*, 6(4), 2284–2307.

- Alamsyah, A., Purnaningsih, N., & Asngari, P. (2021). "Farmers' perceptions of formal and informal credit sources in Indonesia". *Agrisocionomics: Journal of Agricultural Socioeconomics and Policy*, 5(1), 30–42.
- Al-Rajab, J.M. (2021). "Environmental Temperature and Crop Production" (Book Chapter). *Agro-Hydrometeorology*.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Henao, A. (2015). "Agroecology and the Design of Climate Change-Resilient Farming Systems. *Agronomy for Sustainable Development*", 35(3), 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Ambari, M. (2019, January 28). "Suksesnya Minapadi di Indonesia, Jadi Rujukan ke Seluruh Dunia". *Mongabay.co.id*. <https://mongabay.co.id/2019/01/28/suksesnya-minapadi-di-indonesia-jadi-rujukan-ke-seluruh-dunia/>
- Anwar, A. (2022). "The Determinant of Agriculture Development in Indonesia". *Jurnal Kebijakan Ekonomi dan Keuangan*, 153–164.
- APRIL (Asia Pacific Resources International Holdings). (2018). "Integrated Agricultural System Helps Farmer". Website: <https://www.aprilasia.com/en/our-media/articles/integrated-agricultural-system-helps-farmers> (diakses 3 April 2023)
- Apriyantono, A. (2006). "Pembangunan Pertanian di Indonesia Tahun 2004–2009". Kementrian Pertanian. Jakarta
- Archer, D.W., Franco Jr, J.G., Halvorson, J.J., Pokharel, K.P. (2018). "Integrated Farming Systems". Fath, B. editor. *Encyclopedia of Ecology* (2nd Edition). Elsevierp. Oxford, UK.
- Arora, N.K., Mishra, I. "Responsible Consumption and Production: a Roadmap to Sustainable Development. *Environmental Sustainability* 6", 1–6 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42398-023-00266-9>
- Asmarantaka, R. W., Atmakusuma, J., Muflikh, Y. N., & Rosiana, N. (2017). "Konsep Pemasaran Agribisnis: Pendekatan Ekonomi dan Manajemen". *Agribisnis Indonesia*, 5(2), 143–164.
- Asril, M., Lismaini, Ginting, M. S., Suryanti, E., Wahidah, Wati, C., Aksan, M., & Joeniarti, E. (2022). "Pengelolaan Hama Terpadu". Yayasan Kita Menulis. https://www.researchgate.net/publication/366952424_Pengelolaan_Hama_Terpadu
- Atapattu, A.J., Ranasinghe, C.S., Nuwarapaksha, T.D., Udumann, S.S., Disssanayaka, N.S. (2024). "Sustainable Agriculture and Sustainable Development Goals (SDGs). In *Emerging Technologies and Marketing*

- Strategies for Sustainable Agriculture” (pp.1-27). Publisher: IGI Global, Hershey PA
- Aula, M., Nasution, A. H., & Ardiantono, D. S. (2019). “Perancangan Model Bisnis Berbasis Circular Economy”. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7(2), 135–140.
- Azahari, D.H., & Panjaitan, I. (2021). “Pertanian Indonesia dalam Perundingan Aturan Perdagangan Internasional”. *Indonesian Journal of International Law*, 4(3): 481–497. <https://doi.org/10.17304/ijil.vol4.3.155>
- Barkin, D. (2001). “Development: Sustainable Agriculture. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*”, 3597–3599.
- Bawamenewi, T., & Lase, N. (2025). “Peran Mikrobiologi dalam Pengolahan Limbah Pertanian Menjadi Pupuk Organik. *Hidroponik : Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman*”, 2, 53–63. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i1.220>
- Bell, L. W., Moore, A. D., & Kirkegaard, J. A. (2014). “Evolution in Crop–Livestock Integration Systems that Improve Farm Productivity and Environmental Performance in Australia”. *European Journal of Agronomy*, 57, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.04.007>
- Belton, B., & Thilsted, S. H. (2014). “Fisheries in transition: Food and nutrition security implications for the global South”. *Global Food Security*, 3(1), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2013.10.001>
- Bertrand, S., Roberts, A.S., Walker, E. (2022). “No-Till Farming Improves Soil Health and Mitigates Climate Change”. *Environmental and Energy Study Institute*. <https://www.eesi.org/articles/view/no-till-farming-improves-soil-health-and-mitigates-climate-change>
- Bhagat, R., Walia, S.S., Sharma, K., Singh, R., Singh, G., Hossain, A. (2024). “The Integrated Farming System is an Environmentally Friendly and Cost-Effective Approach to the Sustainability of Agri-Food Systems in the Modern Era of the Changing Climate”: A Comprehensive Review. *Food and Energy Security*, 13(1). <https://doi.org/10.1002/fes3.534>
- Bhati, P., Saikia, A.R., Chaudhary, S., Bahadur, R., Nengparamoi, Talukdar, N., Hazaria, S. (2024). *Integrated Farming Systems for Environment Sustainability: A Comprehensive Review*. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(1): 143–155. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2024/v30i11834>
- Biadala, A., Szablewski, T., Cegielska-Radziejewaska, R., Tomczyk, K., Budych, D. (2024). “Utilizing the IFS Standard for the Implementation

- of Sustainable Development Practices in Juice Production”. Sustainability, 16(20), 9123. <https://doi.org/10.3390/su16209123>
- BMKG. (2024). “Anomali Suhu Udara Rata-Rata Tahun 2024”. BMKG–Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. <https://www.bmkg.go.id/iklim/anomali-suhu-udara-rata-rata-tahun-2024>
- Bokings, D.L., Sunarta, I.N., Narka, I.W. (2013). “Karakteristik Terasering Lahan Sawah dan Pengelolaannya di Subak Jatiluwih, Kecamatan Penebel, Kabupaten Tabanan”. E-Jurnal *Agroekoteknologi Tropika*, 2, 3, 175–183.
- Boller, E. F., Avilla, J., Joerg, E., Malavolta, C., Wijnands, F.G., Esbjerg, P. (1993). “Integrated Production: Principles and Technical Guidelines. the International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants”, West Palearctic Regional Section (IOBC/WPRS).
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). “*Aquaculture, Resource Use, and the Environment*”. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118858711>
- BPS. (2021). “Indikator Tujuan Pembangunan Berkelanjutan dan Karakteristik Utama Sektor Pertanian 2021”. Badan Pusat Statistik.
- Brklacich, M., Bryant, C. R., & Smit, B. (1991). “Review and Appraisal of Concept of Sustainable Food Production Systems”. Environmental Management, 15, 1–14.
- Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., Dulazi, A.A. (2015). “Conservation Tillage Impacts on Soil, Crop and the Environment”. International Soil and Water Conservation Research, 3(2): 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002>
- Chairunnisa, N., Arif, C., Perdinan, P., Wibowo, A. (2021). “Analisis Neraca Air di Pulau Jawa-Bali sebagai Upaya Antisipasi Krisis Air”. Jurnal *Teknik Sipil dan Lingkungan*, 6(2): 61–80.
- Chellappa, J., Sagar, K.L., Sekaran, U., Kumar, S., Sharma, P. (2024). “Soil Organic Carbon, Aggregate Stability and Biochemical Activity Under Tilled and No-Tilled Agroecosystems”. *Journal of Agriculture and Food Research*, 4, 100139
- Crews, T. E., Mohler, C. L., & Power, A. G. (1991). “Energetics and Ecosystem Integrity: The Defining Principles of Sustainable Agriculture”. American *Journal of Alternative Agriculture*, 6(3), 146–149.
- Culleton, N., Tunney, H., & Coulter, B. (1994). “Sustainability in Irish Agriculture”. Irish Geography, 27(1), 36–47.

- Da Silva, V.C., Khrisnamurthi, B., Harmini, H. (2023). "Analisis Faktor- Faktor yang Memengaruhi Ekspor Ikan Tuna Beku di Indonesia". *Agribusiness Forum*, 13(2): 164–178
- Damaita, I., Mustikarini, E. D., & Khodijah, N. S. (2024). "Pemanfaatan Pupuk Kascing untuk Meningkatkan Produksi Tanaman Hortikultura".. *Agroteksos*, 34(11). <https://doi.org/10.29303/agroteksos.v34i1.1041>
- Datta, P., Behera, B., Timsina, J., Rahut, D.B. (2024). "Achieving Sustainable Development through Agriculture-Forestry-Livestock Nexus in Bangladesh: Synergies and Trade-Offs". *Agricultural Systems*, 215: 103854. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103854>
- Dell, M. & Olken, B.A. (2018). "The Development Effects of the Extractive Colonial Economy: The Dutch Cultivation System in Java". *The Review of Economic Studies*, 87(1): 164 – 203. <https://doi.org/10.1093/restud/rdz017>
- Dewi, D., & Afrida, E. (2022). "Kajian Respon Penggunaan Pupuk Organik oleh Petani Guna Mengurangi Ketergantungan terhadap Pupuk Kimia". *All Fields of Science Journal Liaison Academia and Society*, 2, 131–135. <https://doi.org/10.58939/afosj-las.v2i4.458>
- Dhaka, B.L., Jat, R.A., Poonia, M.K. (2009). "Integrated Farming System Approach for Natural Resource Management". *Indian J Fertil*, 5(11):31–37.
- Diwyanto, K., Prawiradiputra, B. R., & Lubis, D. (2002). "Integrasi Tanaman-Ternak dalam Pengembangan Agribisnis yang Berdaya Saing, Berkelanjutan, dan Berkerakyatan". *WARTAZOA*, 12(1).
- Diyaolu, C.O., & Folarin, I.O. (2024). "The Role of Biodiversity in Agricultural Resilience: Protecting Ecosystem Services for Sustainable Food Production". *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(1): 1560–1573. <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.1024.2741>
- Djafar, L., Yusuf, M., Ramlah, Sabilu, Y., Kandari, A. M., Kesuma, A. P., Wahono, T., Anggraeni, Y. M., Ramadhani, T., Setyaningsih, R., & Shinta. (2024). *Pengendalian Hama Terpadu*. Eureka Media Aksara.
- Djibran, Moh. M., Andiani, P., Nurhasanah, D. P., & Mokoginta, M. M. (2023). "Analisis Pengembangan Model Pertanian Berkelanjutan yang Memperhatikan Aspek Sosial dan Ekonomi di Jawa Tengah". *Jurnal Multidisiplin West Science*, 2(10), 847–857. <https://doi.org/10.58812/jmws.v2i10.703>

- Domínguez-Hernández, A.; Juárez-Velázquez, A.; Domínguez-Hernández, E.; Zepeda-Bautista, R.; Hernández-Aguilar, C.; Domínguez-Hernández, M. “Impact of the Integration Level in Crop–Livestock Systems on Biomass Production, Nutrient Recycling, and Energy Efficiency”. *Biomass* 2025, 5, 19. <https://doi.org/10.3390/biomass5020019>
- Dos Reis, J.C.; Rodrigues, G.S.; de Barros, I.; Ribeiro Rodrigues, R.d.A.; Garrett, R.D.; Valentim, J.F.; Kamoi, M.Y.T.; Michetti, M.; Wruck, F.J.; Rodrigues-Filho, S.; et al. “Integrated Crop-Livestock Systems: A Sustainable Land-Use Alternative for Food Production in the Brazilian Cerrado and Amazon”. *J. Clean. Prod.* 2021, 283, 124580
- Dover, M. J., & Talbot, L. M. (1987). “To Feed the Earth: Agro-Ecology for Sustainable Development”. World Resources Institute. Washington D.C.
- Edwards, C. A. (1990). “The Importance of Integration in Sustainable Agricultural Systems”. In In Edwards, C. A (Eds.), *Sustainable agricultural systems* (pp. 249-264). CRC Press.
- Efendi, E. (2016). “Implementasi Sistem Petanian Berkelanjutan dalam Mendukung Produksi Pertanian”. *Jurnal Warta*, 47.
- Endang. (2018). ‘Penetapan dan Penegasan Batas Wilayah Daerah dalam Perspektif Hukum dan Informasi Geospasial”. Seminar Nasional Geomatika. <https://doi.org/10.24895/SNG.2018.3-0.1068>
- EOS Data Analytics. (2025). “No-Till Farming: Way To More Sustainable Agriculture”. <https://eos.com/blog/no-till-farming/#:~:text=Improved%20Soil%20Health,life%20and%20promotes%20soil%20fertility>
- Erwidodo. Saliem, H.P., Ariningsih, E., Ashari. 2018. “Review Regulasi Tentang Investasi dan Ekspor Komoditas Pertanian. Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian”. Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian. Jakarta.
- European Investment Bank. (2023). “What is the Linear Economy?”. <https://www.eib.org/en/stories/linear-economy-recycling>
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2020). “Sustainable Food and Agriculture”. Website: <https://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/> (diakses 7 April 2023).
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2024). Indonesia at Glance, Website: <https://www.fao.org/indonesia/fao-in-indonesia/indonesia-at-a-glance/zh/> (diakses 10 September 2024)

- FAO and UNEP. (2021). "Global Assessment of Soil Pollution: Report". Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4894en>
- FAO. (1978). "The State of Food and Agriculture 1977". Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2024). "Integrated Farming Systems: Improving Land-Use Efficiency While Ensuring Food Safety". Rome.
- Fasseur, C. (2008). "Purse or Principle: Dutch Colonial Policy in the 1860s and the Decline of the Cultivation System". *Modern Asian Studies*, 25,1, 33–52.
- Fitriyah, I., & Hariyati, Y. (2020). "The Excellence of Cocoa-Goat Integrated Farming in the Implementation of Zero Waste Concept". *SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)*, 4(2): 162–167. <http://dx.doi.org/10.22225/seas.4.2.2298.162-167>
- Fitton, N., Alexander, P., Arnell, N., Bajzelj, B., Calvin, K., Doelman, J., Gerber, J.S., Havlik, P., Hasegawa, T., Herrero, M., Krisztin, T., van Meijl, H., Powell, T., Sands, R., Stehfest, E., West, P.C., Smith, P. (2019). "The Vulnerabilities of Agricultural Land and Food Production to Future Water Scarcity". *Global Environmental Change*, 58: 101944. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101944>
- Flora, C. B. (1992). "Building Sustainable Agriculture: A New Application Of Farming Systems Research And Extension". In Poincelot, R.P. & Olson, R (Eds.). *Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental policy* (pp. 37-49). Routledge.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). "Indonesia's Agriculture Sector Performance During the COVID-19 Pandemic: Towards a Resilient Agrifood System". Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). – Diproses oleh Our World in Data. Agricultural Land Use per Capita – FAO [dataset]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Land, Inputs and Sustainability: Land Use" [original data]. Retrieved March 16, 2025 from <https://ourworldindata.org/grapher/agricultural-area-per-capita>
- Francis, C. A. (1990). "Practical Applications Of Low-Input Agriculture In The Midwest". *Journal of Soil and Water Conservation*, 45(1), 65–67.

- Ginting, B. K. B. (2025). "Studi Pengembangan Agroforestry sebagai Sistem Pertanian Berkelanjutan". Circle Archive, 1(7). <https://circle-archive.com/index.php/carc/article/view/390>
- Goodland, R. (1997). "Environmental Sustainability In Agriculture: Diet Matters. Ecological Economics", 23(3), 189–200.
- Grimm, M.; Luck, N.; Steinhübel, F. (2023). "Consumers' Willingness to Pay for Organic Rice: Insights from a Non-Hypothetical Experiment in Indonesia", *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, ISSN 1467-8489, Wiley, Hoboken, NJ, Vol. 67, Iss. 1, pp. 83–103, <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12501>
- Guinet, M.; Adeux, G.; Cordeau, S.; Courson, E.; Nandillon, R.; Zhang, Y.; Munier-Jolain, N. "Fostering Temporal Crop Diversification to Reduce Pesticide Use". *Nat. Commun.* 2023, 14, 7416.
- Gultom, F., & Harianto, S. (2021). "Revolusi Hijau Merubah Sosial-Ekonomi Masyarakat Petani". *TEMALI : Jurnal Pembangunan Sosial*, 4, 145–154. <https://doi.org/10.15575/jt.v4i2.12579>
- Hammada, M. (2024). "Tantangan Pertanian Berkelanjutan di Indonesia: Suatu Tinjauan Lingkungan Hidup". *Jurnal Ekologi, Masyarakat dan Sains*, 5, 228–240. <https://doi.org/10.55448/8d0vdt32>
- Hamzens, W. P. S. (2011). "Pengembangan Kawasan Pertanian di Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah". *Jurnal Ruang*, 3(1).
- Harahap. M.A.K., Suparwata, D.O., Rijal, S. (2023). "Penerapan Irigasi Terpadu untuk Mengatasi Musim Kemarau dalam Pertanian Padi". *Jurnal Geosains West Science*, 1, 3, 151–158
- Harefa, O., Zega, D.T.J., Harefa, N. (2025). "Pengaruh Rotasi Tanaman Terhadap Kesuburan Tanah dan Pengendalian Hama". *Flora: Jurnal Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 2(1): 199–207
- Hazra, F., Dianisa, N., & Widyastuti, R. (2018). "Kualitas dan Produksi Vermikompos Menggunakan Cacing African Night Crawler (*Eudrilus eugeniae*): Quality and Production of Vermicompost Using African Night Crawler Worms (*Eudrilus eugeniae*)". *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 20(2), 77–81. <https://doi.org/10.29244/jitl.20.2.77-81>
- Holden, M.H.; Ellner, S.P.; Lee, D.H.; Nyrop, J.P.; Sanderson, J.P. "Designing an Effective Trap Cropping Strategy: The Effects of Attraction, Retention and Plant Spatial Distribution". *J. Appl. Ecol.* 2012, 49, 715–722.
- Holland, J. M., Frampton, G. K., Cilgi, T., & Wratten, S. D. (1994). "Arable Acronyms Analysed—a Review of Integrated Arable Farming Systems

- Research in Western Europe". *Annals of Applied Biology*, 125(2), 399-438.
- Holland, J.M. (2020). Integrated Farming System. In Fath, D.B., & Jprgenses, S.E (Eds.), "Managing Soils and Terrestrial Systems". CRC Press.
- Hrubovcak, J., Vasavada, U., Aldy, J.E., Calvin, L., Fernandez-Cornejo, J., Gadsby, D., Heimlich, R., Huang, W., Johnston, P., Leuck, D. (1999). "Green Technologies for a More Sustainable Agriculture". Resource Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin No. 752.
- <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2024.100127>
- <https://doi.org/10.1088/1755-1315/755/1/012007>
- IFC. (2022). IFC 2022 ANNUAL REPORT - STEPPING UP IN A TIME OF UNCERTAINTY. International Finance Corporation.
- Ihwanudin, N., Saripudin, U., & Suryani. (2020). Keseimbangan dalam Produksi, Distribusi, dan Konsumsi sebagai Upaya Pembangunan Ekonomi Berkelanjutan. *Al-Insyiroh: Jurnal Studi Keislaman*, 6(2).
- Ikerd, J. E. (1990). "Agriculture's Search for Sustainability and Profitability". *Journal of Soil and Water Conservation*, 45, 1, 18–23.
- Ingrao, C., Srippoli, R., Lagioia, G., Huisingsh, D. (2023). "Water Scarcity in Agriculture: An Overview of Causes, Impacts and Approaches for Reducing the Risks". *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18507>
- International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). (2002). "Pilihan Teknologi Agroforestri/Konservasi Tanah untuk Areal Pertanian Berbasis Kopi di Sumberjaya, Lampung Barat". International Centre for Research in Agroforestry. Bogor
- Irawan. (2023). "Pembangunan Ekonomi Pedesaan. In Revitalisasi Ekonomi Pembangunan" (pp. 122–137). PT Sada Kurnia Pustaka. https://www.researchgate.net/publication/369542946_Pembangunan_Ekonomi_Pedesaan
- Ivanka, R., Muhammad, F.A., Dita, L.A., Simarta, T. (2024). "Assessing the Current State and Future Trends of Land Use Conversion: Implications for Food Security in Indonesia". *International Journal of Life Science and Agriculture Research*, 3(4): 284–290. <https://doi.org/10.55677/ijlsar/V03I4Y2024-10>
- Jalli M, Huusela E, Jalli H, Kauppi K, Niemi M, Himanen S and Jauhiainen L (2021) "Effects of Crop Rotation on Spring Wheat Yield and Pest

- Occurrence in Different Tillage Systems: A Multi-Year Experiment in Finnish Growing Conditions”. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:647335. doi: 10.3389/fsufs.2021.647335
- Jayanthi, C., Rangasamy, A., & Chinnusamy, C. (2000). “Water Budgeting for Components in Lowland Integrated Farming Systems”. *Madras Agricultural Journal*, 87.
- Jayaramaiah, R.H., Egidi, E., Macdonald, C.A., Singh, B.K. (2024). “Linking Biodiversity and Biotic Interactions to Ecosystem Functioning”. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 3(3). <https://doi.org/10.1002/sae2.12119>
- Johann von Loeper, W., Drimie, S., Blignaut, J.N. (2018). “The Struggles of Smallholder Farmers: A Cause of Modern Agricultural Value Chains in South Africa.” Dalam *Agricultural Value Chain*. Intech Open
- Junior, M.B., Pinheiro, E., Sokulski, C.C., Huarachi, D.A.R., de Francisco, A.C. (2021). “How to Identify Barriers to the Adoption of Sustainable Agriculture? A Study Based on a Multi-Criteria Model”. *Sustainability*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/su142013277>
- Kambewa, E. (2007). *Contracting For Sustainability: An Analysis of the Lake Victoria-EU Nile Perch Chain*. Wageningen Academic Publishers. Wageningen.
- Kaur, A., Paruchuri, R.G., Nayak, P., Devi, K.B., Upadhyay, L., Kumar, A., Pancholi, R., Yousuf, M. (2023). “The Role of Agroforestry in Soil Conservation and Sustainable Crop Production: A Comprehensive Review”. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11): 3089 – 3095. 10.9734/IJECC/2023/v13i113478
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018). “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050”. Urban Development. Washington, DC: World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/30317>
- Kebede, E. (2021). “Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems”. *Front. Sustain. Food System.* 5:767998. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.767998>
- Keeney, D. R. (1989). “Toward a Sustainable Agriculture: Need for Clarification of Concepts and Terminology”. *American Journal of Alternative Agriculture*, 4(3-4), 101-105.
- Kerdlap, P., Low, J.S.C., Rmakrishna, S. (2019). “Zero Waste Manufacturing: A Framework and Review of Technology, Research, and Implementation

- Barriers for Enabling a Circular Economy Transition in Singapore”. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104438. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104438>
- Khobragade, S., Mohapatra, S., Mahananda, M., Singh, A., Singh, A. (2022). “Comparative Study of Mental Health of Farmers of Uttar Pradesh and Maharashtra Engaged in Integrated Farming System”. *The Pharma Innovation Journal*, 11(12): 346-349.
- Koohafkan, P., Altieri, M. A., & Gimenez, E. H. (2012). “Green Agriculture: Foundations for Biodiverse, Resilient and Productive Agricultural Systems”. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 10, 1, 61-75.
- Kristina, D. M., Setiani, V., & Dewi, T. U. (2023). “Analisis Karakteristik Fisik Kompos dari Proses Vermikomposting Menggunakan Cacing Tanah Merah”. 6.
- Kudsk, P., & Mathiassen, S.K. (2020). “Pesticide Regulation in the European Union and the Glyphosate Wontroversy”. *Weed Science*, 68(3): 214–222. <https://doi.org/10.1017/wsc.2019.59>
- Kumar, S., Kumar, R., & Dey, A. (2019). “Energy Budgeting of Crop-Livestock-Poultry Integrated Farming System in Irrigated Ecologies of Eastern India”. *Indian J. Agric. Sci*, 89, 6, 1017-22. DOI: <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i6.90826>
- Kumar, S., Singh, R., Ansari, M.A., Ravisankar, N. (2025). “Integrated Farming Systems for Higher Sustainable Natural Resources in Intensive Systems”. In: Pathak, H., Lakra, W.S., Gopalakrishnan, A., Bansal, K.C. (eds) *Advances in Agri-Food Systems*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-0763-1_10
- Kumara, K., Pal, S., Chand, P., Kandpal, A. (2023). “Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems in Indian Agricultural Landscape: A Meta-Analysis”. *Ecosystem Services*, 62, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101537>
- Lal, R., and Miller, F.P. (1990). “Sustainable Farming for Tropics In: Sustainable Agriculture. Issues and Prospective”. Vol 1 (Ed) R.P. Singh. *Indian Society of Agronomy IARI New Delhi* pp. 69-89.
- Lal, S. P., Mahendra, A., & Verma, A. R. M. (2023). *Origin and History of Integrated Farming System: Few Grassroots Experiences and its Revival through Agro-Tourism. In Entrepreneurship in Integrated Farming System*. Publisher. Daya Publishing House.

- Lem, A., Bjornal, T., Lappo, A. (2014). *Economic Analysis of Supply And Demand For Food Up To 2030–Special Focus on Fish And Fishery Products*. Food And Agriculture Organization of The United Nations. Rome.
- Li, F., Li, S., & Shan, Q. (2019). “The Effect of Temperature on Plant Growth in Four Gerbera Hybrida Cultivars”. *HortScience*, 54(7), 1164-1167.
- Liberty, S., Endrawati, Y. C., & Salundik. (2022). “Karakteristik Produksi Cacing Tanah (*Lumbricus rubellus*) dengan Pakan Limbah Pasar Berupa Sayur Sawi Hijau dan Pepaya”. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 10(2), 77–85. <https://doi.org/10.29244/jipthp.10.2.77-85>
- Listyowati, E., Anjaini, J., Syakuri, H., Ekasanti, A., Nugrayani, D., Simangunsong, T., & Purnomo, W. H. (2024). “Optimalisasi Pemanfaatan Lahan dan Sumber Air melalui Kombinasi Budidaya Dalam Ember dan Akuaponik untuk Peningkatan Gizi Masyarakat Desa Serayu Larangan, Kabupaten Purbalingga”.
- Lu, Y.H.; Wu, K.M.; Wyckhuys, K.A.; Guo, Y.Y. “Potential of Mungbean, *Vigna Radiatus* as a Trap Crop for Managing *Apolygus Lucorum* (Hemiptera: Miridae) on Bt Cotton”. *Crop. Prot.* 2009, 28, 77–81
- Maat, H. (2016). “Agriculture in Indonesia. Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures”, 49-53.
- MacRae, R. J., Henning, J., & Hill, S. B. (1993). “Strategies to Overcome Barriers to the Development of Sustainable Agriculture in Canada: the Role of Agribusiness”. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 6, 21-51.
- Maia, S.M.F., Medeiros, A.d.S., dos Santos, T.C., Lyra, G.B., Lal, R., Assad, E.D., Cerri, C.E.P. 2022. “Potential of No-Till Agriculture as a Nature-Based Solution for Climate-Change Mitigation in Brazil”. *Soil and Tillage Research*, 220, 105368.
- Malik, A.I., Bell, R., Zang, H. et al. “Exploring the Plant and Soil Mechanisms by Which Crop Rotations Benefit Farming Systems”. *Plant Soil* 507, 1–9 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06994-z>
- Manjunatha, S. B., Shivmurthy, D., Sunil, A. S., Nagaraj, M. V., & Basavesha, K. N. (2014). Integrated Farming System-an Holistic Approach: A Review. *Research and Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 3(4), 30-38.
- Marita, L., Arief, M., Andriani, N., & Wildan, M. (2021). “Strategi Peningkatan Kesejahteraan Petani Indonesia, Review Manajemen Strategis”.

- Agriekonomik, 10, 1–18. <https://doi.org/10.21107/agriekonomika.v10i1.9391>
- Meera, A. V., John, J., Sudha, B., Sajeena, A., Jacob, D., & Bindhu, J. S. (2019). “Greenhouse Gas Emission from Integrated Farming System Models: A Comparative Study”. *Green Farming*, 10, 696–701.
- Mihrete, T.B., & Mihretu, F.B. (2025). “Crop Diversification for Ensuring Sustainable Agriculture, Risk Management and Food Security”. *Global Challenges*, 9(2), 2400267. <https://doi.org/10.1002/gch2.202400267>
- Mirosea, N., & Aulia, A. (2023). “Pengabdian Kepada Masyarakat dalam Menciptakan Nilai Tambah Ekonomi dari Daur Ulang Kulit Pisang”. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat (JAPIMAS)*, 2(1), 30–36.
- Mishra, S., Kumar, R., Kumar, M. (2023). “Use of Treated Sewage or Wastewater as an Irrigation Water for Agricultural Purposes- Environmental, Health, and Economic Impacts”. *Total Environment Research Themes*, 6: 10005. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100051>
- Mondal, S., Chakraborty, D., Paul, R.K., Mondal, A., Ladha, J.K. (2023). “No-Till is more of Sustaining the Soil than a Climate Change Mitigation Option”. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 352, 108498.
- Moraine, M., Duru, M., Nicholas, P., Leterme, P., Therond, O. (2014). “Farming System Design for Innovative Crop–Livestock Integration in Europe. *Animal*”, 8, 1204–1217. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731114001189>.
- Moreira, S.G.; Hoogenboom, G.; Nunes, M.R.; Martin-Ryals, A.D.; Sanchez, P.A. “Circular Agriculture Increases Food Production and Can Reduce N Fertilizer Use of Commercial Farms for Tropical Environments”. *Sci. Total Environ.* 2023, 879, 163031.
- Mulono, A., Fikri, Kms. N., Azhar, A., & Yulianti, Y. (2023). “Implementasi Program Aksi Ketahanan Pangan di Kabupetan Indragiri Hilir”. *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir*, 9. <https://doi.org/10.47521/selodangmayang.v9i1.293>
- Munandar, M., Gustiar, F., Yakup, Y., Hayati, R., Munawar, A.I. (2015). “Crop-Cattle Integrated Farming System: An Alternative of Climatic Change Mitigation”. *Media Peternakan*, 38(2): 95–103. <https://doi.org/10.5398/medpet.2015.38.2.95>
- Nababan, F.E., & Regina, D. (2021). “The Challenges of Integrated Farming System Development Towards Sustainable Agriculture in Indonesia”.

- E3S Web of Conferences 306. 1st ICADAI 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130605015>
- Nada, H.N. (2023). “Kearifan Lokal Nyabuk Gunung Sebagai Betuk Konservasi Tanah Guna Meminimalisir Longsor di Area Perbukitan Masyarakat Jawa”. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya*, 3, 10.
- Nawangsari, Y. R. (2024). “Penerapan Teknologi Cerdas dalam Pengelolaan Tanaman Untuk Meningkatkan Efisiensi Sumber Daya dan Hasil Pertanian”. *Jurnal Literasi Indonesia*, 1(2), 69–76.
- Neher, D. (2018). Ecological “Sustainability in Agricultural Systems: Definition and Measurement. In Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental Policy” (pp. 51-61). Routledge.
- Noor, I. A. (2023). “Peran Keanekaragaman Hayati di Indonesia dalam Mengatasi Perubahan Iklim Global”. Prosiding SEMNAS BIO 2023 UIN Raden Fatah Palembang.
- Noviadi, R., Putri, D.D., Maradon, G.G., Candra, A.A., Irwani, N., Apriani, G., Adinata, M.D.C., Krisnanda, M. (2023). “Impact of Maggot Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Flour Supplementation in Broiler Chickens, *Advances in Animal and Veterinary Sciences*”, 11(4): 606–613. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2023/11.4.606.613>
- Nurhanifa, I., & Budiasih. (2023). “Efisiensi Teknis dan Total Faktor Produktivitas Sektor Pertanian di Jawa Tahun 2020”. Seminar Nasional Official Statistics 2023.
- Nurhidayati, D. R., Huang, W.-C., Hanani, N., & Sujarwo, S. (2020). “Rice-Fish Farming System in Lamongan, East Java, Indonesia: SWOT and Profit Efficiency Analysis”. *Agricultural Socio-Economics Journal*, 20(4), 311–318. <https://doi.org/10.21776/ub.agrise.2020.20.4.6>
- Pakaya, P., Baderan, D. W. K., & Hamidun, M. S. (2025). “Efektivitas Sistem Agroforestri dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah dan Produktivitas Pertanian. Hidroponik”. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman*, 2(2), 12–27. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i2.329>
- Peters, K. A. (2010). “Creating a Sustainable Urban Agriculture Revolution”. *Journal of Environmental Law and Litigation*, 25, 203–247.
- Prasetyo, A. F., Purwoto, & Suryadi, U. (2021). “Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak sebagai Pupuk Organik di Kabupaten Jember”. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Peternakan*, 6(2). <https://doi.org/10.35726/jpmp.v6i2.557>

- Prasetyo, Y.E., & Mauludin, M.A. (2016). "Community Development Planning: Introduction of Integrated Farming System (IFS) to the Rural Community". *Jurnal Ilmu Ternak*, 16(2): 78–88.
- Purba, C.P.P., Nanggara, S.G., Ratriyono, M., Apriana, I., Rosalina, L., Sari, N.A., Merdian, A.H. (2014). "Potret Keadaan Hutan Indonesia (Periode 2009–2013)". Forest Watch Indonesia. Bogor.
- Purba, M.B., Sari, A., Ronauli, A. (2024). "Dampak dari Sistem Tanam Paksa dalam Perekonomian dan Kehidupan Masyarakat Indonesia". *AR RUMMAN - Journal of Education and Learning Evaluation*, 1(2): 565–596
- Purnomo, C.W. (2021). *Solusi Pengelolaan Sampah Kota*. UGM Press. Yogyakarta.
- Purwanti, I. (2021). "Konsep dan Implementasi Ekonomi Sirkuler dalam Program Bank Sampah Studi Kasus: Keberlanjutan Bank Sampah Tanjung". *AmaNU: Jurnal Manajemen dan Ekonomi*, 4, 1, 89–98.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. (2023). *Statistik Pertanian 2023*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Jakarta.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. "Analisis PDB Sektor Pertanian Tahun 2023". Sekretariat Jendral Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Puspita, N., Maulana, M.A., Widyatama, H.I. (2024). "Analysis of the Effect of Sustainable Agricultural Investment Planning Model on Agricultural Development in Indonesia". *Economics and Business International Conference Proceeding*, 1(2), 1120–1132.
- Putri, D.K.Y., Mumtazah, Z., Sari, D.A.D., Widjatma, R.R., Saputra, I. (2023). "Penerapan Integrated Farming Berbasis Zero Waste dalam Mendukung Perekonomian Masyarakat Desa Grenden". *SEGAWATI (Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat)*, 8(1): 1195–1200.
- Qomariah, R., Ilham, N., Rahayu, H., Rina, D., Lesmayati, S. (2023). "The Potential for Cattle-Palm Integration Business Development in South Kalimantan, Indonesia". *E3S Web Conferences*, 444, 0213. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344402013>
- Rabik, A., & Brown, B. (2004). *Menuju Perhutanan Bambu Resilien (Tangguh)*. Yayasan Hutan Biru. Makassar.
- Radhamani, S., Balasubramanian, A., Ramamoothy, K., & Geetalakshmi, V. (2003). "Sustainable Integrated Farming Systems for Drylands–A Review". *Agricultural Reviews*, 24, 3, 204–210.

- Rahim, A., Hastuti, R.D., Malik, A. (2024). *Pembangunan Ekonomi Biru Indonesia*. Penerbit NEM.
- Reed, M. S. (2008). "Stakeholder Participation for Environmental Management: A Literature Review". *Biological Conservation*, 141(10), 2417–2431. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.014>
- Rehman, A., & Farooq, M. (2023). "Challenges, Constraints, and Opportunities in Sustainable Agriculture and Environment". Dalam buku *Sustainable Agriculture and the Environment*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90500-8.00012-9>
- Rejeki, S., Aryati, R. W., & Widowati, L. L. (2019). *Pengantar Akuakultur*. UNDIP PRESS.
- Rhofita, E. I. R. (2022). "Optimalisasi Sumber Daya Pertanian Indonesia untuk Mendukung Program Ketahanan Pangan dan Energi Nasional". *Jurnal Ketahanan Nasional*, 28(1), 82. <https://doi.org/10.22146/jkn.71642>
- Riady, N.R., Ibrahim, N., Martini, S. (2022). "Kehidupan Sosial-Ekonomi Masyarakat Bogor pada masa Pendudukan Jepang Tahun 1942-1945". *HISTORIOGRAPHY: Journal of Indonesian History and Education*, 2(4): 487–502.
- Rifandi, A. (2025). "Disnak Kaltim Perkuat Integrasi Ternak Sapi dengan Kebun Sawit". ANTARA News Kalimantan Timur. <https://kaltim.antaranews.com/berita/225845/disnak-kaltim-perkuat-integrasi-ternak-sapi-dengan-kebun-sawit>
- Rivera-Ferre, M. G., Ortega-Cerdà, M., & Baumgärtner, J. (2013). "Rethinking Study and Management of Agricultural Systems for Policy Design". *Sustainability*, 5, 9, 3858-3875.
- Robinson, G.M., "Global Sustainable Agriculture and Land Management Systems". *Geography and Sustainability*, 5(4): 637–646. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.09.001>
- Rokhmah, D. N., & Sobari, I. (2017). "Agroforestri Karet di Indonesia". *SIRINOV*, 5(1), 35–44.
- Rome Business School. (2023). "Why Is the Linear Economic Model No Longer Sustainable? ". <https://romebusinessschool.com/blog/linear-economy/>
- Salsabilah, S. N. (2025, September 28). "Kedatangan Bangsa Belanda ke Indonesia: Sejarah & Latar Belakang dari VOC-Penjajahan". *detikEdu*.

- <https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-8133308/kedatangan-bangsa-belanda-ke-indonesia-sejarah-latar-belakang-dari-voc-penjajahan>
- Sánchez et al. (2022). “*Ecological Economics—Meta-Analysis: Diversified Farming Systems Financially Outperform Simplified Ones*”.
- Saputro, W., Budiyo, B., Rato, Y., Anwar, M., Wibowo, A., Adriani, D., Muala, B., Suciati, L., Setyarini, A., Sulistyowati, L., & Asmalinda, A. (2024). *Pembangunan Pertanian Berkelanjutan*. CV HEI Publishiung Indonesia.
- Saribanon, N., Ilmi, F., Rafsanjani, M. F., Amarullah, A., & Siregar, Z. (2024). Peran Pendampingan dalam Proses Adopsi Teknologi Pertanian Padi Organik di Desa Rahayu Kabupaten Tuban Jawa Timur. *Populis : Jurnal Sosial dan Humaniora*, 9(1), 79–89. <https://doi.org/10.47313/pjsh.v9i1.3662>
- Saring, S., Barkah, J., Husin, H. (2017). “Di antara Bayang-Bayang Eksploitasi Perkebunan dan Involusi Pertanian: Kehidupan Petani di Bogor 1905-1960-an”. Prosiding Seminar Nasional Desain dan Media.
- Scott, D.; Freckleton, R.P. “Crop Diversification and Parasitic Weed Abundance: A Global Meta-Analysis”. *Sci. Rep.* 2022, 12, 19413.
- Seitz, S., Prasuhn, V., & Scholten, T. (2020). “Controlling Soil Erosion Using No-Till Farming Systems”. In: Dang, Y., Dalal, R., Menzies, N. (eds) *No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46409-7_12
- Selvan, T., Panmei, L., Murasing, K.K., Guleria, V., Ramesh, K.R., Bhardwaj, D.R., Thakur, C.L., Kumar, D., Sharma, P., Digvijaysinh Umedsinh, R., Kayalvizhi, D., Deshmukh, H.K. (2023). “Circular Economy in Agriculture: Unleashing the Potential of Integrated Organic Farming for Food Security and Sustainable Development”. *Front. Sustain. Food Syst.* 7 : 1170380. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1170380>
- Sharma, V., Yadav, N., Singh, N., Singh, M., Dhillod, S. (2021). “Integrated Farming System: Scope Sustainability and Importance. *Just Agriculture*”, 2, 2, 1 – 7.
- Shelton, A.M.; Badenes-Perez, F.R. “Concepts and Applications of Trap Cropping in Pest Management”. *Annu. Rev. Entomol.* 2006, 51, 285–308.
- Siebrecht, N. (2020). “Sustainable Agriculture and its Omplementation Gap—Overcoming Obstacles to Implementation”. *Sustainability*, 12, 9, 3853.
- Sondrika, W. (2019). “Dampak Cultuurstelsel (Tanam Paksa) bagi Masyarakat Indonesia dari Tahun 1830-1870”. *Jurnal Artefak*, 3(1): 59–66.

- Stentiford, G. D., et al. (2012). "Disease Will Limit Future Food Supply from the Global Crustacean Fishery and Aquaculture Sectors". *Journal of Invertebrate Pathology*, 110(2), 141–157. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.03.013>
- Storkey, J., Meyer, S., Still, K.S., Leuschner, C. (2012). "The impact of Agricultural Intensification and Land-Use Change on the European Arable Flora. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences", 279(1732): 1421–1429. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1686>
- Strandberg, B., Boutin, C., Mathiassen, S.K., Damgaard, C., Dupont, Y.L., Carpenter, D.J., Kudsk, P. 2017. "Effects of Herbicides on Non-Target Terrestrial Plants". ACS Symposium Series, 1249: 149–166. <https://doi.org/10.1021/bk-2017-1249.ch011>
- Subramanian, U., Anderson, W. P., & Lee, K. (2005). "Measuring the Impact of the Investment Climate on Total Factor Productivity: The Cases of China and Brazil". <http://econ.worldbank.org>.
- Sumarniasih, M. S., Trigunasih, N. M., & Surbakti, M. (2023). "Penentuan Tingkat Erosi dan Perencanaan Konservasi Lahan di Sub DAS Telagawaja Kabupaten Karangasem Provinsi Bali". *Agrotechnology Research Journal*, 7(1), 65–71. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v7i1.76266>
- Suproni, M., & Suheimi, D. (2023). Ssistem Pertanian Terpadu Tanaman Padi dan Bebek Petelur.. *Jurnal Kommunity Online*, 3(2), 219–230. <https://doi.org/10.15408/jko.v2i2.29287>
- Suwardike, P., & Prabawa, P. S. (2024). *Sistem Pertanian Terpadu* (1st ed.). PT Media Penerbit Indonesia.
- Syaukat, Y., & Julistia, D.R. (2019). "Analysis of Income and Factors Determining The Adoption of Integrated Rice-Fish Farming System in Seyegan District", Sleman Regency, Yogyakarta, Indonesia. *Journal ISSAAS*, 25(1): 66–79.
- Syuaib, M. F. (2016). "Sustainable Agriculture in Indonesia: Facts and Challenges to Keep Growing in Harmony with Environment. Agricultural Engineering International". *CIGR Journal*, 18(2), 170-184.
- Tacconi, F., waha, K., Ojeda, J.J., Leith, P., Mohammed, C., Venables, W.N., Rana, J.C., Bhardwaj, R., Yadav, R., Ahlawat, S.P., Hammond, J., van Wijk, M. (2023). "Farm Diversification Strategies, Dietary Diversity and Farm Size: Results From a Cross-Country Sample in South and Southeast Asia". *Global Security Food*, 38.

- Tait, J., & Morris, D. (2000). "Sustainable Development of Agricultural Systems: Competing Objectives and Critical Limits. *Futures*", 32(3-4), 247-260.
- Takagi, S. (2024). "*Theorizing the Socio-Cultural Dynamics of Consumer Decision-Making for Participation in Sustainable Agriculture*". *Agricultural and Food Economics*. <https://doi.org/10.1186/s40100-024-00318-6>
- Tamburini, G.; Bommarco, R.; Wanger, T.C.; Kremen, C.; van der Heijden, M.G.A.; Liebman, M.; Hallin, S. "Agricultural Diversification Promotes Multiple Ecosystem Services without Compromising Yield". *Sci. Adv.* 2020, 6, eaba1715.
- Tanzil, A. I., Rahayu, P., Jamila, R., Fanata, W. I. D., Sholikhah, U., & Ratnasari, T. (2023). Pengaruh Sampah Organik terhadap Karakteristik Kimia Vermikompos. *AGRORADIX : Jurnal Ilmu Pertanian*, 7(1), 67–76. <https://doi.org/10.52166/agroteknologi.v7i1.5262>
- Techsci Research. (2024). Nutrient Recycling: A Key Solution for Sustainable Farming. <https://www.techsciresearch.com/blog/nutrient-recycling-a-key-solution-for-sustainable-farming/4566.html>
- The Institute for Carbon Removal Law and Policy. (2020). "Soil Carbon Sequestration. Institute for Carbon Removal Law and Policy". <https://carbonremoval.info/factsheets>
- Tirta, E. B. E. (2025, April 21). "Pelajaran Pahit dari Jepang: RI Juga Bisa Terancam Krisis Beras". *CNBC Indonesia*. <https://www.cnbcindonesia.com/research/20250420232836-128-627304/pelajaran-pahit-dari-jepang-ri-juga-bisa-terancam-krisis-beras>
- Tiwari, P.N. (1993). "Integrated Farming Research for Sustaining food Production". *J. Nucl. Agric. Biol.*, 22 , 1, 1–13.
- Touch, V., Tan, D.K.Y., Cook, B.R., Liu, D.L., Cross, R., Tran, T.A., Utomo, A., Yous, S., Grunbuhel, C., Cowie, A. (2024). "Smallholder Farmers' Challenges and Opportunities: Implications for Agricultural Production, Environment and Food Security". *Journal of Environmental Management*, 370: 122536. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122536>
- Troell, M., Naylor, R. L., Metian, M., Beveridge, M., Tyedmers, P. H., Folke, C.,... & Deutsch, L. (2014). "Aquaculture and the Environment: A Comparative Analysis of the Environmental Footprint of Aquaculture and other Food Production Sectors". *Reviews in Aquaculture*, 6(1), 58–73. <https://doi.org/10.1111/raq.12003>

- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2022). "World Population Prospects 2022: Summary of Result". UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3
- USDA. (2016). "Seeing is Believing: Soil Health Practices and No-Till Farming Transform Landscapes and Produce Nutritious Food". <https://www.usda.gov/about-usda/news/blog/seeing-believing-soil-health-practices-and-no-till-farming-transform-landscapes-and-produce#:~:text=Additionally%2C%20the%20soil%20structure%20remains,reduce%20or%20eliminate%20soil%20erosion>
- Utomo, M. N., Rita, M. R., Pratiwi, S. R., & Puspitasari, I. (2022). *Green Business: Strategi Membangun Kewirausahaan Berdaya Saing dan Berkelanjutan*. Syiah Kuala University Press.
- Varughese, K., & Mathew, T. (2009). "Integrated Farming Systems for Sustainability in Coastal Ecosystem". *Indian Journal of Agronomy*, 54, 2, 120-127.
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N., & Newig, J. (2015). "What is Sustainable Agriculture? A Systematic Review". *Sustainability*, 7, 6, 7833-7865.
- Vereijken, P. (1992). A Methodic Way to more Sustainable Farming Systems. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 40, 3, 209-223.
- Vereijken, P.H. (1989). "Experimental Systems of Integrated and Organic Wheat Production". *Agricultural Systems* 30, 2, 187-197.
- Wahab, S., Alim, S., Manullang, F., Aziz, S., Romadhon, A., Marganingsih, M., Ratnaningtyas, K., Sulandjari, Hanifah, R., Wulandari, Y., & Mansur, M. (2022). *Pemberdayaan Masyarakat: Konsep dan Strategi*. GAPTEK Media Pustaka.
- Widodo, W. (2023). *Hukum Lingkungan*. Damara Press. Jakarta
- Widyaningsih, M., Priswanto, & Susilawati, H. (2025). "Peningkatan Produktivitas Tanaman Melalui Sistem Pencahayaan Greenhouse Berbasis Internet of Things". *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 24(2), 189-200. <https://doi.org/10.31358/techne.v24i2.594>
- Widyaningsih, T. S., & Hani, A. (2012, May 29). "Praktik Agroforestri di Kawasan Penyangga Taman Nasional Gunung Halimun-Salak". Seminar Nasional Agroforestri III.
- Wihardjaka, A. (2018). "Penerapan Model Pertanian Ramah Lingkungan sebagai Jaminan Perbaikan Kuantitas dan Kualitas Hasil Tanaman Pangan". *Pangan*, 27(2), 155-164. <https://doi.org/10.33964/jp.v27i2.376>

- Wiyono, Nugroho, I. S., Maharani, A. T., & Fatihah, S. I. (2025). *Kemandirian Petani dan Pupuk Organik Teori dan Praktik*. PT Prime Identity House.
- Yoko, B., & Prayoga, A. (2019). "Understanding Farmer's Access and Perception to Islamic Microfinance on Agricultural Financing: Study in Central Lampung Regency. *Journal of Halal Product and Research*, 2(1), 6. <https://doi.org/10.20473/jhpr.vol.2-issue.1.6-15>
- Yusriadi. (2025). "*Sustaining Food Security through Social Capital in Agroforestry: Evidence from Rural Communities in North Luwu Regency, Indonesia*". *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
- Zhao, G., Werku, B.C., Bulti, T.W. (2025). "Impact of Agricultural Emissions on Goal 13 of the Sustainable Development Agenda: in East African Strategy for Climate Action. *Environ Sci Eur*", 37(35). <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01056-2>

Buku ini tidak diperjualbelikan

BIODATA PENULIS

Dr. Ir. Rita Parmawati, SP., M.E., IPU., ASEAN Eng

Rita Parmawati. Penulis lahir di Bojonegoro, 31 Januari 1977 selanjutnya banyak menghabiskan waktunya di Kota Madiun. Pendidikan S-1 diselesaikan di jurusan Sosial Ekonomi Pertanian Universitas Brawijaya pada tahun 1999. Pendidikan S-2 diselesaikan di jurusan Ekonomi Pembangunan pada tahun 2009. Selanjutnya, pada tahun 2013, penulis menyelesaikan pendidikan S-3 Pengelolaan Sumber daya Alam dan Lingkungan dengan predikat *cum laude*.



Saat ini, penulis aktif menjadi dosen di Fakultas Pertanian dan Sekolah Pascasarjana Universitas Brawijaya serta menjadi tenaga ahli di beberapa kegiatan yang berhubungan dengan perencanaan pembangunan, pertanian berkelanjutan, pariwisata berkelanjutan, dan AMDAL. Buku ini menjadi buku keempat belas, setelah sebelumnya menulis tentang (1) *K3 Pariwisata*; (2) *Ekowisata Berbasis Komunitas: Sebuah Langkah Mendorong Potensi Desa Wisata di Jawa Timur*; (3) *Conserving Biocultural Landscape in Malaysia and Indonesia for Sustainable Development*; (4) *Zero Waste Integrated Farming System sebagai Upaya Ketahanan Pangan Nasional*; (5) *Membangun Masyarakat Pertanian Berkelanjutan melalui Integrated Farming System*; (6) *Valuasi Ekonomi Sumber daya Alam dan Lingkungan Menuju Ekonomi Hijau*; (7) *Circular Economy di Sektor Pertanian*; (8) *Ekowisata: Determinan Pariwisata Berkelanjutan untuk Mendorong Perekonomian Masyarakat*; (9) *Sustainable Livelihood Approach: Mendorong Pertanian yang Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan*; (10) *Ecology, Economy, Equity: Sebuah Upaya Penyeimbangan Ekologi dan Ekonomi*; (11) *COLLABORATIVE GOVERNANCE–Pelibatan Personel Komponen Cadangan Nasional pada Ketahanan Bencana Berbasis Pentahelix G+*; (12) *Wisata Kuliner di Masa Krisis*, dan (13) *Mewujudkan Ngawi Lestari: Sinergi Petani Dan Alam Dalam Pertanian Berkelanjutan*.

Supriyanto, S.Sos., M.Si.



Supriyanto. Penulis lahir di Ngawi, 2 Agustus 1973. Penulis menyelesaikan pendidikan di STPDN pada tahun 1995. Kemudian, pada tahun 2001, menyelesaikan pendidikan S-1 di Fakultas Ilmu Administrasi Universitas Brawijaya. Pada tahun 2010, penulis menyelesaikan pendidikan S-2 di Universitas Wijaya Putra.

Saat ini, penulis aktif menjadi Kepala Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Pamekasan. Buku ini menjadi buku pertama bagi penulis.

INDEKS

- agroforestri 60, 63, 64, 72, 73, 74, 75,
87, 109, 122, 124
- akuakultur xi, 2, 52, 54, 56, 57, 59,
63, 81, 82, 83, 85, 87, 108, 110,
111, 121
- Diversifikasi 54, 62, 64, 71, 75, 79,
123
- ekonomi sirkular xii, xv, xvi, 2, 23,
33, 80, 98, 99, 100, 119, 121,
124, 127, 143
- limbah domestik 93
- limbah organik 83, 84, 85, 86, 87,
95, 109
- pengelolaan limbah 49, 77, 82, 83,
84, 85, 98, 122
- maggot 91, 93, 94, 95, 97, 100
- Hermetia illucens* 91, 95, 129, 142
- Pengelolaan Hama Terpadu 43, 110
- Pertanian Terpadu Tanpa Limbah
xi, xv, 2, 23, 29, 30, 31, 32, 33,
34, 35, 36, 37, 38, 39, 45, 46,
47, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56,
57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64,
65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73,
74, 75, 76, 78, 79, 86, 88, 89,
91, 92, 114, 115, 118, 119
- Pupuk organik 110
- rotasi tanaman xi, 36, 37, 38, 40, 41,
43, 45, 46, 47, 63, 67, 68, 69,
70, 71, 75, 87
- Sustainable Development Goals* 59,
125, 130
- vermikomposting 67, 83, 84, 85,
86, 87
- zero waste 49, 50, 62

Sistem pertanian berkelanjutan adalah proses pendekatan dalam budidaya tanaman dan peternakan yang bertujuan untuk mencapai produksi pangan yang berkelanjutan dari segi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Sistem ini dapat dikembangkan dengan sistem pertanian terpadu tanpa limbah. Prinsip utama dari sistem pertanian terpadu tanpa limbah meliputi keragaman dan polikultur (*diversity and polyculture*), rotasi tanaman (*crop rotation*), integrasi ternak (*livestock integration*), pengomposan (*composting*), agroforesti (*agroforestry*), akuakultur (*aquaculture*), pengolahan air (*water management*), daur ulang biomassa (*biomass recycling*), pengolahan hama secara alami (*natural pest management*), dan integrasi energi terbarukan (*renewable energy integration*).

Buku *Implementasi Ekonomi Sirkular dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan* hadir untuk membuka, menginformasikan, dan memberikan wawasan masyarakat mengenai sistem pertanian berkelanjutan, dari latar belakang munculnya konsep pertanian terpadu tanpa limbah, tujuan dan pengembangannya, prinsip yang membangun, implementasi pertanian terpadu tanpa limbah dan manfaatnya, hingga strategi mewujudkan pertanian sirkular yang berkelanjutan. Buku ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber referensi bagi peneliti atau akademisi, praktisi bisnis pertanian, petani, penyuluh atau pemberdaya masyarakat, serta pelaku kebijakan pada berbagai level di tingkat pemerintahan dan profesional pengembangan sistem pertanian berkelanjutan.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.562



ISBN 978-634-7933-05-8

