



Penerapan

Pertanian Terpadu



Abdul Azis Ambar | Munir | Harli A Karim
Muhammad Jurhadi Kadir | Nur Ilmi | Kheriyah Jamal

PENERAPAN PERTANIAN TERPADU

UU No. 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan Sifat Hak Cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

PENERAPAN PERTANIAN TERPADU

Abdul Azis Ambar | Munir | Harli A Karim
Muhammad Jurhadi Kadir | Nur Ilmi | Kheriyah Jamal

PENERAPAN PERTANIAN TERPADU

Penulis : Abdul Azis Ambar
Munir
Harli A Karim
Muhammad Jurhadi Kadir
Nur Ilmi [dan 1 lainnya]
Desain Cover : Dwi Novidiantoko
Sumber : Penulis
Tata Letak : Titis Y.
Proofreader : Aditya T.

Ukuran:
xiv, 145 hlm., Uk.: 15.5x23 cm

ISBN:
978-634-01-1844-5

Cetakan Pertama:
November 2025

Hak Cipta 2025 pada Penulis
Copyright © 2025 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)
Jl. Rajawali, Gg. Elang 6, No. 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl. Kaliurang Km. 9,3 – Yogyakarta 55581
Telp./Faks : (0274) 4533427
Website : www.penerbitdeepublish.com
www.deepublishstore.com
E-mail : cs@deepublish.co.id

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

Isi di luar tanggung jawab percetakan.

KATA PENGANTAR PENERBIT

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, buku ***Penerapan Pertanian Terpadu*** dapat terwujud dan hadir di tengah-tengah masyarakat. Sebagai penerbit yang berkomitmen untuk mencerdaskan, membahagiakan, dan memuliakan umat manusia, kami merasa terhormat dapat berkontribusi dalam penyebaran ilmu pengetahuan dan pendidikan melalui penerbitan karya ini.

Buku ini mengulas tentang sistem pertanian terpadu. Pertanian terpadu memanfaatkan lahan yang tersedia untuk menghasilkan berbagai macam produk pertanian berkualitas tinggi. Hasil yang bervariasi dari setiap komoditas pertanian diproses lebih lanjut menjadi sumber energi yang baru untuk kegiatan pertanian lainnya. Konsep pertanian terpadu ini juga merupakan upaya petani untuk memperbaiki sifat tanah dengan menambahkan bahan organik.

Terima kasih dan penghargaan terbesar kami sampaikan kepada penulis yang telah memberikan kepercayaan, perhatian, dan kontribusi penuh demi kesempurnaan buku ini. Kami berharap karya ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam perkembangan keilmuan di Indonesia. Semoga buku ini tidak hanya menjadi sumber informasi yang berharga, tetapi juga menginspirasi pembacanya untuk terus berkembang dan berkontribusi dalam membangun bangsa yang lebih baik.

Hormat Kami,
Penerbit Deepublish

KATA PENGANTAR

Dunia pertanian memegang peran penting, bahkan terpenting, bagi kehidupan umat manusia di dunia, tidak terkecuali di Indonesia. Semua makhluk hidup membutuhkan produk dari pertanian untuk melangsungkan kehidupan maupun untuk kebutuhan industri. Banyak program pemerintah dibuat untuk mendukung pertanian ke arah swasembada dan kemandirian pangan untuk menjamin ketahanan pangan dan keamanan pangan. Pertanian membutuhkan dukungan dari berbagai aspek agar produk yang dihasilkan dapat optimum dan sesuai yang diharapkan. Banyak faktor berperan penting dan menentukan bagi peningkatan produk tanaman, misalnya faktor biotik seperti hama dan penyakit tanaman, maupun faktor abiotik seperti mineral atau nutrisi, cuaca, tanah, dan air. Selain itu, teknik pengelolaan tanaman dapat digabungkan dengan teknik lain, seperti peternakan dan perikanan, yang juga akan menambah manfaat bagi tanaman, lingkungan, dan pengelolanya jika dilakukan sesuai ketentuan. Keterpaduan setiap aspek dalam pertanian memberikan banyak manfaat bagi pertumbuhan tanaman dan peningkatan produk tanaman khususnya, serta menjamin kesehatan lingkungan tumbuh tanaman lebih baik.

Oleh karenanya, dengan hadirnya buku Dr. Ir. Abdul Azis Ambar, M.P. dkk dengan judul ***Penerapan Pertanian Terpadu***, perlu disambut gembira karena buku ini menyajikan beberapa teknik keterpaduan yang diaplikasikan di pertanian. Buku juga menambah pengetahuan dan khazanah ilmu yang praktis dan teknis dalam mengelola pertanian. Keterpaduan berbagai aspek seperti sistem pertanian, pola tanam, pengelolaan hama dan penyakit, dan pupuk diuraikan dengan jelas di dalam buku ini dan dilengkapi teknik praktisnya. Hadirnya buku ini memberikan angin segar dan harapan untuk dapat meningkatkan produk pertanian yang aman dan ramah, serta menjamin kelestarian ekosistem pertanian.

Semoga pertanian Indonesia akan menjadi lebih baik, lebih aman, dan lebih lestari sehingga keberlanjutan pertanian dapat diwujudkan dan ketahanan pangan dapat tercapai.

Purwokerto, Juli 2025

Prof. Ir. Loekas Soesanto, M.S., Ph.D.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR PENERBIT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii

BAB 1. PENGANTAR PENERAPAN PERTANIAN

TERPADU	1
1.1. Definisi Sistem Pertanian Terpadu	1
1.2. Alasan Pentingnya Sistem Pertanian Terpadu	4
1.3. Pernyataan Ahli tentang Pertanian Terpadu dan Keberlanjutan	8
1.4. Bagaimana Produksi dalam Sistem Pertanian Terpadu	9
1.5. Peran Peternakan dalam Sektor Pertanian	12
1.6. Peluang dan Tantangan dalam Pertanian Terpadu	15

BAB 2. SISTEM PERTANIAN TERPADU

2.1. Konsep Sistem Pertanian Terpadu.....	17
2.2. Sistem Keterpaduan.....	18
2.3. Pengolahan dengan Digester.....	21
2.4. Komponen Sistem Pertanian Terpadu	24
2.5. Alat Pengompos	26
2.6. Oksidasi	28
2.7. Kolam Ikan Alternatif.....	32
2.8. Lahan Tanaman	33
2.9. <i>Prosesing</i> Hasil Pertanian	36
2.10. Residu/Sampah.....	39
2.11. Persyaratan Tanaman Organik	41

BAB 3. MODEL DAN PENERAPAN PERTANIAN TERPADU DI PERDESAAN	43
3.1. Sistem pertanian terpadu konvensional	43
3.2. Sistem Pertanian Terpadu dengan Teknologi EM.....	44
3.3. Sistem Pertanian Organik	45
3.4. Sistem Pertanian Terpadu Modern.....	46
3.5. Hakikat Pertanian Terpadu	49
3.6. Penerapan Pertanian Terpadu	49
3.7. Model Penerapan Pertanian Terpadu	53
BAB 4. PENGATURAN POLA TANAM	73
4.1. Budidaya Lorong (<i>Alley Cropping/Hedgrow Intercropping</i>).....	73
4.2. Pemilihan Tanaman Pagar	74
4.3. Tanaman Utama	76
4.4. Pertanian Sejajar Kontur (<i>Contour Farming</i>).....	77
4.5. Penentuan Posisi Tanaman	81
4.6. Wanatani/Hutan Tani/Agroforestry.....	82
4.7. Sistem Pertanaman Campuran dan Rotasi (Pergiliran) Tanaman.....	85
4.8. Sistem Pertanaman Surjan	86
4.9. Intensifikasi Pekarangan.....	87
4.10. Petak Pertanaman dan Pemberian Pupuk Organik.....	89
BAB 5. SISTEM PENGENDALIAN HAMA TERPADU	91
5.1. Apa Itu PHT?.....	91
5.2. Mengapa Harus PHT ?	92
5.3. Pengendalian Hama dan Penyakit.....	95
5.4. Sifat Dasar Pengendalian Hama Terpadu	96
5.5. Landasan Utama PHT	97
5.6. Unsur-Unsur Dasar PHT	99
5.7. Langkah-langkah Pengembangan PHT	101
5.8. Mempelajari Komponen Saling Tindak dalam Ekosistem	104
5.9. Penetapan dan Pengembangan Ambang Ekonomi.....	105
5.10. Sistem Pengamatan dan Monitoring Hama	106
5.11. Model Deskriptif dan Peramalan Hama	107

5.12. Strategi Pengelolaan Hama	108
5.13. Organisasi PHT	110
BAB 6. PENGOMPOSAN	113
6.1. Proses Pengomposan	114
6.2. Penyiapan Starter dan Tempat	116
6.3. Kegiatan Pengomposan	116
6.4. Pemanenan Kompos	118
BAB 7. PENERAPAN TEKNOLOGI PERTANIAN	
TERPADU	119
7.1. Kondisi Indonesia di Era Digitalisasi	119
7.2. Teknologi dan Produksi Pertanian.....	120
7.3. Teknologi Tepat Guna	121
7.4. Teknologi Informasi Cuaca dan Kondisi Tanah.....	123
7.5. Teknologi Limbah dan Lingkungan	124
7.6. Hambatan dalam Adopsi Teknologi	125
7.7. Teknologi Digitalisasi dengan <i>Artificial Intelligence (AI)</i>	128
REFERENSI.....	132
TENTANG PENULIS.....	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Ilustrasi Sistem Pertanian Terpadu	2
Gambar 2.	Pencemaran air di sungai akibat pembuangan limbah.	7
Gambar 3.	Keterpaduan ikan dan ternak di persawahan	21
Gambar 4.	Alur Pengolahan Limbah Ternak Menggunakan Digester	22
Gambar 5.	Tahapan digestion anaerobik dalam merombak bahan organik.....	23
Gambar 6.	Kotoran Ternak di Areal Peternakan.....	24
Gambar 7.	Alat pengompos (<i>composter</i>).....	27
Gambar 8.	Bahaya dibalik menumpuknya gas metan yang belum terolah dengan baik.	29
Gambar 9.	Pengaliran Gas Oksigen melalui Pipa	31
Gambar 10.	Aliran bahan dan hara pada pola tanaman-ternak-ikan dalam sistem LEISA pada pertanian terpadu.....	32
Gambar 11.	Budidaya tanaman pertanian dengan budidaya ikan.....	33
Gambar 12.	Pola pertanian terpadu dengan tumpeng sari jagung – pisang dan jagung – sayuran untuk lahan kering	35
Gambar 13.	Edukasi dan olahan hasil pertanian	37
Gambar 14.	Pengolahan jerami padi dan bahan organik lainnya.....	40
Gambar 15.	Limbah jerami yang dapat diolah menjadi produk yang mempunyai nilai tinggi	40
Gambar 16.	Perkembangan pertanian daerah tropika dengan berbagai sistem	44
Gambar 17.	Pertanian organik	45
Gambar 18.	Potensi besar untuk pertanian terpadu kelapa sawit dan peternakan sapi.....	55
Gambar 19.	SPT dengan teknologi hedger di lahan konversi berbasis tanaman pakan, tanaman pangan/semusim dan ternak ruminansia	57
Gambar 20.	Interaksi Tanaman dan ternak serta pengolahan limbah dalam model SPT pada lahan konversi.....	59

Gambar 21. Tanaman Mucuna sebagai penutup tanah untuk mengurangi laju erosi tanah	62
Gambar 22. Tumpang sari tanaman sebagai bentuk pertanian terpadu	64
Gambar 23. Sistem yang memadukan agropastoral dan agrofiseries	70
Gambar 24. Budidaya Lorong dengan <i>Gliricidia sepium</i>	74
Gambar 25. Parit di antara Tanaman Pagar dan Tanaman Budi Daya untuk Menghindari Gangguan pada Akar	76
Gambar 26. Alat dan Bahan Kerangka A pada Pertanian Sejajar Kontur	78
Gambar 27. Cara Pembuatan Kerangka A dalam Pertanian Sejajar Kontur	79
Gambar 28. Cara Menentukan Titik Berat/Keseimbangan	79
Gambar 29. Teknik Pembuatan Kontur dengan Kerangka A	80
Gambar 30. Cara Menentukan Jarak Barisan Kontur	81
Gambar 31. Pemanfaatan lahan pekarangan	88
Gambar 32. Dampak penggunaan pestisida yang tidak bijaksana	95
Gambar 33. Grafik Kedudukan Aras Luka Ekonomi dan Ambang Ekonomi	100
Gambar 34. Monitoring hama merupakan langkah PHT untuk menentukan status hama	103
Gambar 35. Fluktuasi populasi hama dalam hubungannya dengan tingkat kerusakan (TKE), AEK, dan kedudukan keseimbangan umum (KKU)	106
Gambar 36. Langkah Pengelolaan PHT dalam Pertanian	109
Gambar 37. Proses pencampuran dan pembalikan kompos limbah ternak	117
Gambar 38. Pengelolaan sampah rumah tangga	118
Gambar 39. Pemanfaatan Drone untuk penyomprotan pestisida	126
Gambar 40. Pemanfaatan AI untuk pengaturan penyiraman tanaman	131

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis Tanaman Pohon yang Tumbuh Cepat dan Bersifat Multiguna	83
Tabel 2. Jenis Tanaman Pohon Berumur Sedang.....	83
Tabel 3. Jenis Tanaman Pohon yang Berumur Panjang	84
Tabel 4. Karakteristik Bahan Baku yang Sesuai untuk Proses Pengomposan.....	116

BAB 1.

PENGANTAR PENERAPAN PERTANIAN TERPADU

1.1. Definisi Sistem Pertanian Terpadu

Sistem pertanian terpadu merupakan sistem produksi pertanian yang memadukan berbagai komponen seperti tanaman pangan, peternakan, akuakultur, dan sumber daya alam untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas, menjaga keberlanjutan dan keseimbangan ekosistem untuk mendukung mutu produk. Pendekatan tersebut, dapat juga dikembangkan dengan mengintegrasikan teknologi, manajemen, dan sumber daya alam. Suatu metode penanaman berbagai jenis tanaman dengan cara yang bervariasi, di mana hasil panen suatu tanaman menjadi input bagi tanaman lain, sehingga meningkatkan kesuburan tanah melalui aktivitas alami, menyeimbangkan semua nutrisi organik, dan pada akhirnya membuka jalan bagi pertanian ramah lingkungan dan pertanian organik yang berkelanjutan.

Pertanian terpadu pada hakikatnya adalah pertanian yang menjaga keseimbangan dalam ekosistemnya sendiri sehingga aliran nutrisi (unsur hara) dan energi terjadi secara seimbang. Keseimbangan ini menghasilkan produktivitas tinggi dan produksi berkelanjutan yang dipertahankan secara efektif dan efisien. Meskipun cakupan pertanian sendiri sangat luas, pertanian sebenarnya merupakan interaksi dalam suatu ekosistem yang membentuk keseluruhan pertanian. Misalnya, daerah di mana jagung ditanam. Apa yang terjadi jika tidak ada hewan pemamah biak di suatu daerah? Adanya hewan ternak di suatu daerah akan menciptakan interaksi. Dalam pertanian konvensional, sisa tanaman dan kotoran ternak merupakan limbah bermasalah yang tidak dimanfaatkan, sehingga penanganannya memerlukan biaya tinggi. Limbah tersebut bisa saja dimanfaatkan mengurangi biaya produksi bagi petani.

Ada beberapa kasus di mana limbah pertanian tidak digunakan dan mencemari lingkungan, diantaranya: 1) Sebuah penelitian terhadap Sungai Citarum yang dilakukan oleh Kompas menemukan bahwa limbah ternak dari daerah Lembang mencemari sungai dari hulu hingga hilir, meskipun

banyak orang yang bergantung pada air Sungai Citarum tersebut; 2) Degradasi Tanah di Jawa, Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan menyebabkan degradasi tanah, yang menurunkan produktivitas pertanian di Jawa; 3) Polusi Air Tanah Bali: 4.444 limbah pertanian, termasuk limbah hewan dan pupuk kimia, mencemari air tanah Bali dan membahayakan kesehatan masyarakat.



Gambar 1. Ilustrasi Sistem Pertanian Terpadu
(sumber: Asmawati & Marwanti, 2022)

Pertanian terpadu merupakan pilar kebangkitan bangsa Indonesia dengan cara menyediakan pangan yang aktual bagi rakyat Indonesia. Dalam segi ekonomi pertanian terpadu sangat menguntungkan bagi masyarakat karena output yang dihasilkan lebih tinggi dan sistem pertanian terpadu ini tidak merusak lingkungan karena sistem ini ramah terhadap lingkungan. Output dari pertanian terpadu juga bisa dimanfaatkan dengan mengolahnya menjadi biomassa. Bekas jerami, batang jagung, dan tebu memiliki potensi biomas yang besar.

Pertanian terpadu merupakan suatu sistem yang dapat menyediakan makanan secara nyata bagi masyarakat Indonesia dan merupakan pilar revitalisasi bangsa Indonesia. Dari sudut pandang ekonomi, pertanian terpadu sangat bermanfaat bagi masyarakat lokal karena menghasilkan hasil panen yang tinggi dan ramah lingkungan, dan tidak membahayakan lingkungan. Hasil panen dari pertanian terpadu juga dapat diolah menjadi biomassa untuk digunakan sebagai pakan ternak.

Jerami, batang jagung dan limbah tebu memiliki potensi besar sebagai biomassa.

Pertanian terpadu adalah konsep memanfaatkan lahan yang tersedia untuk menghasilkan berbagai macam produk pertanian berkualitas tinggi. Hasil yang bervariasi dari setiap komoditas pertanian diproses lebih lanjut menjadi sumber energi yang baru untuk kegiatan pertanian lainnya. Penggunaan komponen pertanian yang terkoordinasi dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi produksi yang hingga tercapai hasil produksi yang ramah lingkungan. Konsep pertanian terpadu ini juga merupakan upaya petani untuk memperbaiki sifat tanah dengan menambahkan bahan organik.

Bahan organik tanah adalah golongan senyawa organik yang diperoleh di tanah alami, termasuk serasah daun, fraksi bahan organik ringan, biomassa mikroba, bahan organik terlarut dalam air, dan bahan organik stabil atau humus. Bahan organik yang dihasilkan dalam sistem pertanian terpadu ini memainkan peran penting dalam menentukan kemampuan tanah untuk menyanggah tanaman. Oleh karena itu, ketika kandungan bahan organik tanah menurun, maka kemampuan tanah untuk mendukung produktivitas tanaman juga menurun.

Bahan organik merupakan bahan langsung N, P, S, unsur-unsur mikro dan nutrisi penting dalam tanah. Secara tidak langsung, bahan organik menyediakan energi bagi bakteri pengikat nitrogen, melepaskan fosfat yang terikat secara kimia dan biologis, serta mengkelat unsur-unsur mikro sehingga tidak mudah hilang dari zona perakaran, dan berkontribusi terhadap pasokan nutrisi nitrogen melalui fiksasi nitrogen. Pembentukan agregat tanah yang lebih baik dan stabilisasi agregat yang terbentuk meningkatkan permeabilitas udara, permeabilitas, dan infiltrasi. Hal ini meningkatkan ketahanan tanah terhadap erosi, memperbaiki kapasitas retensi air yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, memperbaiki retensi nutrisi karena peningkatan beban tanah, memperbaiki senyawa antropogenik dan logam berat yang telah masuk ke dalam tanah, dan meningkatkan kapasitas penyangga tanah.

1.2. Alasan Pentingnya Sistem Pertanian Terpadu

Hampir 200 tahun yang lalu, Thomas Malthus mengajukan teori tentang hubungan antara pertumbuhan penduduk dan pembangunan ekonomi. Teori ini masih dipercayai hingga saat ini. Thomas Malthus merumuskan konsep hasil yang semakin berkurang dalam teorinya. Malthus menguraikan kecenderungan secara universal bahwa populasi penduduk suatu negara yang tumbuh sangat cepat setiap 30 hingga 40 tahun berdasarkan deret ukur atau laju geometri. Sementara itu semakin berkurangnya faktor produksi tetap, seperti tanah, stok pangan, sehingga pertambahan hasil semakin menurun. Pertambahan tersebut hanya meningkat menurut deret hitung atau tingkat aritmetik (Todaro dan Smith, 2004).

Contoh yang mendukung teori Malthus: Pada tahun 1950, populasi dunia hanya 2,5 miliar, tetapi pada tahun 1990 telah tumbuh menjadi 5,3 miliar, dan pada tahun 2030 akan mencapai 8,9 miliar. Oleh karena itu, benar adanya bahwa pertumbuhan penduduk mengikuti deret ukur seperti yang diuraikan dalam teori Malthus. Karena pertumbuhan penduduk yang cepat, permintaan pangan akan terus meningkat. Konpresensi Tingkat Tinggi (*The World Food Summit FAO*) di Roma pada tahun 1997 meramalkan bahwa produksi pangan dan pakan di negara-negara berkembang perlu meningkat tiga kali lipat pada tahun 2050. Peningkatan ini ditujukan untuk memenuhi kebutuhan yang timbul dari proyeksi penggandaan populasi dunia dan upaya mencapai standar hidup yang lebih tinggi. Menurut laporan PBB tahun 2005, selama 50 tahun ke depan, permintaan pangan diperkirakan meningkat 70-85% dan permintaan air bersih meningkat 30-85%. Peningkatan ini tidak diimbangi oleh pasokan pangan, sehingga memperlebar ketidakseimbangan antara pertumbuhan populasi dunia dan kapasitas produksi pangan dunia, yang laju peningkatannya tumbuh lebih lambat daripada peningkatan pertumbuhan populasi penduduk. Ketimpangan ini tercermin dalam terus menurunnya pasokan pangan per kapita dunia.

Para pakar di seluruh dunia berusaha meningkatkan produksi pangan untuk memenuhi pertumbuhan populasi penduduk. Revolusi Hijau tahun 1960-an hingga 1980-an memungkinkan produksi pangan yang cukup melalui penggunaan mesin, pupuk, pestisida, dan benih berkualitas. Banyak negara telah memperoleh manfaat dari hasil Revolusi Hijau,

termasuk Indonesia yang mencapai swasembada beras pada tahun 1984 melalui program Bimas. Dengan berjalannya waktu, saat ini, Revolusi Hijau telah terbukti menimbulkan berbagai masalah. Penggunaan pupuk yang berlebihan mengurangi kesuburan tanah.

Salah satu indikator kerusakan tanah akibat penggunaan pupuk kimia yang berlebihan adalah mengerasnya tanah pertanian, walaupun peningkatan penggunaan pupuk pada saat yang sama dapat meningkatkan produksi. Dampak negatif lainnya adalah kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan pestisida yang berlebihan. Banyak produk pertanian yang terkontaminasi pestisida yang berdampak buruk bagi kesehatan, terutama menimbulkan penyakit degeneratif. Penggunaan pestisida yang berlebihan, terutama pada pola tanam tanaman sejenis (monokultur) dapat menimbulkan munculnya hama baru dan hama yang resistan.

Hal terpenting yang perlu diingat bahwa tingginya biaya input dalam budidaya pertanian akan mempengaruhi berkurangnya nilai yang diperoleh bagi petani. Revolusi Hijau membutuhkan factor produksi mahal seperti benih, pupuk, pestisida, energi, pakan, obat-obatan dan tenaga kerja. Meningkatnya biaya produksi tersebut akan mengurangi nilai hasil panen petani, khususnya petani kecil yang memiliki lahan sempit dan bergantung pada rentenir untuk pembiayaan. Selain itu, nilai produk pertanian saat ini meningkat secara nominal tetapi turun secara riil.

Menurut data Bank Dunia "*World Development Indicators*" tahun 2001, menunjukkan bahwa indeks harga pertanian naik dari 208 pada tahun 1960 menjadi 87 pada tahun 2000, sementara nilai riil pertanian turun 2,39 kali. Secara khusus, ketika membandingkan harga riil pada tahun 2000 dengan harga riil pada tahun 1960, banyak input pertanian penting yang lebih murah. Nilai dolar pada tahun 1990 sama seperti pada tahun 1960. Harga beras pada tahun 2000 2,58 kali lebih rendah daripada harga beras pada tahun 1960, begitu juga dengan komoditas karet, kopi arabika, teh, minyak sawit, beras, jagung dan gula. Oleh karena itu, wajar saja apabila banyak petani merasa frustrasi karena nilai hasil pertanian mereka terus turun dan tidak lagi bernilai seperti produk pertanian lainnya.

Pada tahun 1980, seorang petani dengan lahan hanya 1 hektare bisa menjadi pedagang, namun saat ini, seorang petani dengan lahan 1 hektare hanya dapat menghasilkan hasil panen yang cukup untuk

memenuhi kebutuhan sehari-hari, dengan asumsi tidak terjadi gagal panen. Ketimpangan yang dialami petani kecil dalam skala besar juga disebabkan oleh fakta bahwa negara-negara berkembang digunakan hanya sebagai pemasok bahan baku dan pasar bagi hasil pengolahan bahan baku. Para petani menjual hasil panen mereka dengan harga yang rendah dan membeli barang olahan dengan harga yang lebih mahal.

Kekeringan dan banjir adalah dua jenis bencana alam yang sering dialami oleh petani, selain itu ada bencana alam lainnya, seperti angin kencang, yang sering mempengaruhi sektor pertanian Indonesia. Hal ini merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya kegagalan dalam aktivitas pertanian. Perubahan iklim yang tidak menentu, dengan karakteristik seperti tertundanya musim hujan, akan berdampak langsung pada siklus hidup petani, seperti awal kegiatan bercocok tanam mulai berubah dan seiring dengan itu, sehingga siklus penghidupan petani pun mulai bergeser pada kegiatan nonpertanian. Begitupun dengan perubahan curah hujan dan lamanya hari hujan yang berfluktuasi, secara langsung memengaruhi kondisi pertanian yang dikelola, dan sering kali membahayakan keberlanjutan kegiatan pertanian. Variabilitas iklim sering dikaitkan dengan gagal panen, dengan demikian ada kebutuhan yang meningkat yang prediksi awal musim hujan pada tingkat lokal (regional).

Deklarasi *Global World Water Forum* ke-2 yang diadakan di Den Haag pada tahun 2013 meramalkan bahwa krisis air akan terjadi di beberapa negara pada tahun 2025. Indonesia termasuk dalam 10 negara dengan sumber air terbanyak, namun diprediksi akan mengalami krisis air akibat pengelolaan air yang salah urus, yang mengakibatkan tingginya tingkat pencemaran air, penggunaan air yang tidak efisien, dan berlebuhnya debit di sungai.



Gambar 2. Pencemaran air di sungai akibat pembuangan limbah.

Fluktuasi volume debit air yang besar, kelembagaan yang lemah dan peraturan yang tidak memadai menyebabkan Jawa berada pada risiko besar kekurangan air. Dari segi ketersediaan, hanya tersedia sekitar 1.750 m³/kapita/tahun di Jawa, masih di bawah standar kecukupan sebesar 2.000 m³/kapita/tahun (Laporan Tahunan Kementerian Lingkungan Hidup 2013). Masalah air di Indonesia ditandai dengan makin memburuknya kondisi lingkungan dan semakin cepatnya kelangkaan air. Orang-orang mulai memandang air sebagai komoditas ekonomi.

Sebagaimana ditetapkan dalam Prinsip Dublin (2012), air memiliki nilai ekonomi dalam semua penggunaan yang bersaing dan harus diakui sebagai barang ekonomi. Kelangkaan air merupakan peluang ekonomi. Oleh karena itu, perlu ada upaya untuk mengatasi kelangkaan air melalui penggunaan air yang efisien dan adil dengan membatasi konsumsi air, meningkatkan nilai ekonomi air, dan memungkinkan konservasi air. Konservasi alam dapat tercapai jika pembangunan didasarkan pada model pembangunan berkelanjutan (Goodland, 1995).

1.3. Pernyataan Ahli tentang Pertanian Terpadu dan Keberlanjutan

Beberapa pendapat ahli yang berkaitan tentang topik pertanian terpadu dan keberlanjutan. Hal ini sangat penting untuk pengembangan di masa mendatang. Profesor Chan menjelaskan bahwa tidak ada harapan bagi pembangunan berkelanjutan selama kita tidak mengelola terus menerus secara bijak dan menyia-nyiaikan sumber daya alam yang ada. Sekarang orang telah menyadari bahwa sampah dulunya adalah limbah, suatu saat bisa menjadi sumber yang menguntungkan. Dengan adanya sains dan teknologi yang ditopang oleh bekerjanya daya nalar manusia untuk mengubah sampah menjadi sumber daya. Barulah kita bisa bicara tentang keberlanjutan. Lebih jauh, Preston dan Murgaitio (1994) berpendapat bahwa budidaya tanaman pakan ternak, memberi makan hewan, dan mendaur ulang pupuk di lahan dapat mengurangi penggunaan input impor, termasuk energi, sehingga mengurangi penggunaan sumber daya alam terbarukan.

Keberlanjutan menekankan hubungan antara lingkungan dan manusia, dengan tujuan mencapai kelestarian ekologi dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Sayangnya, konsep ini mengakibatkan berkurangnya ketersediaan sumber daya alam akibat eksploitasi berlebihan. Masyarakat yang secara langsung atau tidak langsung terlibat dalam eksploitasi sumber daya alam sangat bergantung pada alam. Orang yang tinggal di pedesaan sering kali merasa sulit dalam membuat keputusan mengenai sumber daya alam. Di sisi lain, jika kita mengeksploitasi sumber daya alam, maka kita perlu menjaga kapasitas produksi sumber daya tersebut untuk memastikan kesejahteraan kita. Keadaan ini makin diperparah ketika sumber daya alam yang tersedia di wilayah tersebut sangat terbatas, sementara proses eksploitasi semakin intensif.

Contoh daerah yang minim sumber daya alamnya adalah Karst Gunung Sewu. Kelangsungan hidup masyarakat Gunung Sewu sangat bergantung pada ketersediaan sumber daya alam di sekitar mereka. Oleh karena itu, penerapan sistem pertanian tertentu merupakan ekspresi keinginannya untuk menjaga keseimbangan yang diperlukan untuk tetap bertahan hidup. Masyarakat Gunung Sewu telah mengembangkan cara-cara tradisional dalam memanfaatkan dan melestarikan sumber daya alam

dengan cara memanfaatkan sumber daya secara efisien untuk produksi pangan. Strategi penggunaan lahan yang dipilih dipengaruhi oleh kondisi sosial ekonomi, termasuk budaya, sedangkan strategi penciptaan pendapatan lebih dipengaruhi oleh kondisi fisik lingkungannya (Sunkar, 2008).

Penerapan pertanian terpadu memerlukan beberapa prinsip dasar.

- A. *Manfaat Ekonomi meliputi*** (1) bertambahnya pendapatan karena bertambahnya produksi baik secara kualitatif maupun kuantitatif. (2) Mengurangi biaya melalui penggunaan teknologi dan sumber daya yang efisien untuk mengurangi biaya produksi. (3) Peningkatan efisiensi dari manajemen sumber daya yang efektif akan menghasilkan peningkatan efisiensi produksi. (4) Diversifikasi pendapatan: Pertanian terpadu memungkinkan petani memiliki sumber pendapatan yang beragam.
- B. *Dampak dari membaiknya perekonomian*** antara lain: (1) Peningkatan kesejahteraan melalui pertanian terpadu akan meningkatkan pendapatan dan meningkatkan kesejahteraan petani dan keluarganya. (2) Pengembangan usaha: Pertumbuhan ekonomi memungkinkan petani mengembangkan usaha lainnya. (3) Peningkatan investasi: Peningkatan pendapatan meningkatkan kemampuan petani untuk berinvestasi. (4) Pengentasan Kemiskinan: Pertumbuhan ekonomi mengurangi kemiskinan di daerah pedesaan.

1.4. Bagaimana Produksi dalam Sistem Pertanian Terpadu

Produksi dalam pertanian terpadu pada hakikatnya adalah memanfaatkan seluruh potensi energi yang terdapat dalam pertanian sehingga dapat dipanen secara seimbang dan berkesinambungan. Agar proses pemanfaatan tersebut dapat terjadi secara efektif dan efisien, maka sebaiknya produksi pertanian terpadu berada dalam suatu kawasan yang terdiri atas minimal produksi tanaman dan peternakan. Keberadaan sektor-sektor ini akan mengakibatkan kawasan tersebut memiliki ekosistem yang lengkap dan seluruh komponen produksi tidak akan menjadi limbah karena pasti dimanfaatkan oleh komponen lainnya. Di samping itu akan terjadi

peningkatan hasil produksi dan penekanan biaya produksi sehingga efektivitas dan efisiensi produksi akan tercapai.

Produksi pertanian terpadu pada hakikatnya tentang bagaimana memanfaatkan potensi energi pertanian sepenuhnya untuk mencapai penggunaan yang seimbang dan berkelanjutan. Agar proses pemanfaatannya efektif dan efisien pada satu kawasan, idealnya di suatu kawasan dilakukan produksi pertanian secara terpadu, minimal meliputi produksi tanaman pangan dan peternakan. Kehadiran sektor tersebut memberi makna bahwa di suatu kawasan terdapat satu ekosistem yang lengkap dan tidak ada satu pun komponen produktif yang menjadi limbah, karena sudah pasti dimanfaatkan oleh komponen lainnya. Selanjutnya tercapailah hasil produksi yang lebih baik dan biaya produksi yang lebih rendah, sehingga tercapai efektivitas dan efisiensi produksi.

Selain itu, petani sering menghadapi masalah kekurangan pupuk, sehingga selalu menjadi masalah klasik, bagi itu pupuk bersubsidi dan tidak bersubsidi, serta harga pupuk dan biaya operasionalnya terus meningkat. Mengingat situasi ini sering terjadi, maka salah satu pendekatan alternatif yang dilakukan oleh daerah pedesaan adalah pengenalan sistem pertanian terpadu, di mana limbah pertanian dan peternakan petani diubah menjadi pupuk padat atau cair dan digunakan sebagai infus produksi.

Menurut Gupta dkk. (2020) sistem pertanian terpadu lebih menguntungkan karena memungkinkan produksi yang lebih besar melalui penggunaan sumber daya yang optimal, daur ulang limbah, dan penggunaan tenaga kerja keluarga. Agarwal (2018) menyatakan bahwa perbandingan biaya tetap dan variabel dalam hasil penelitiannya dapat menentukan struktur biaya dan hasil pertanian padi secara tradisional dan metode SRI. Metode penanaman padi secara tradisional memiliki biaya total yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode SRI.

Keuntungan pertanian dengan metode pertanian SRI hampir dua kali lipat dibandingkan metode tradisional. Menurut Ndiiri *et al.* (2013), biaya untuk tenaga kerja dalam metode SRI lebih tinggi 9% dibandingkan metode konvensional, namun pada musim tanam berikutnya, rasio B/C sebesar 1,76 dan 1,88 untuk metode SRI mengurangi biaya tenaga kerja sebesar 13% dibandingkan dengan metode konvensional sebesar 1,31 dan 1,35. Bakari (2019) menyatakan bahwa rata-rata pendapatan petani padi

sawah tergolong berpendapatan rendah karena tidak dapat memenuhi kebutuhan hidup petani sehari-hari, dan hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa karakteristik biaya produksi dan pendapatan petani padi sawah setelah panen semakin memperparah, karena biaya tersebut harus ditanggung oleh petani beras. Selanjutnya dilakukan penelitian mengenai budidaya padi sawah dengan sistem tradisional di Kabupaten Kalanganyar oleh Muhammad dkk. (2016) menghasilkan Rp 18.012.641,00/ha.

Dampak yang ditimbulkan oleh penerapan sistem pertanian terpadu terhadap produksi, sebagai berikut:

1. Peningkatan hasil panen Peningkatan kuantitas dan kualitas produksi.
2. Pengurangan Biaya, Kurangi biaya produksi dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya.
3. Peningkatan penjualan, dengan meningkatnya kuantitas dan kualitas produksi akan meningkatkan pendapatan petani.
4. Mengurangi dampak lingkungan, mengurangi dampak lingkungan melalui teknik dan praktik pertanian yang ramah lingkungan

Penerapan pertanian terpadu merupakan ide modern untuk meningkatkan pendapatan petani dan melindungi sumber daya alam, dan terbukti dapat meningkatkan profitabilitas pertanian skala kecil dibandingkan pertanian skala besar. Hal ini memungkinkan pengembangan model pembangunan alternatif yang meningkatkan sistem pertanian terpadu tidak hanya mengurangi limbah dengan menggunakan limbah sebagai sumber daya, tetapi juga meningkatkan produktivitas seluruh sistem pertanian, sehingga limbah dari satu jenis aliran limbah pertanian dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan jenis tanaman lainnya. Sistem ini bertindak sebagai suatu sistem yang menjamin bahwa tanah merupakan sumber daya bagi pertanian (Hidayati *et al.*, 2020).

Ketika prinsip pertanian terpadu diterapkan, yaitu (1) Vegetasi subur merupakan ekosistem yang kompleks. (2) rotasi tanaman multifungsi, (3) perlindungan tanaman terpadu, yaitu menyeimbangkan pemberian pupuk dengan memaksimalkan penyerapan tanaman, dan (4) pengelolaan prasarana yang bersifat ekologi (Belandi, 2020). Contoh penerapan sistem pertanian terpadu antara lain: (1) Di Jawa Barat,

penerapan sistem pertanian dan peternakan terpadu (SITT) dapat meningkatkan produksi padi sebesar 25%. (2) Produksi sayuran yang menggunakan bahan organik meningkat sebesar 30% di Bali. (3) Sistem Hidroponik dapat meningkatkan hasil panen sebesar 50% di Surabaya.

1.5. Peran Peternakan dalam Sektor Pertanian

Peternakan merupakan salah satu subsektor pertanian yang mempunyai nilai strategis tersendiri. Dalam kehidupan sehari-hari, sistem peternakan dapat dijelaskan melalui pemanfaatan produk-produknya. Makanan yang berasal dari hewan dikaitkan dengan standar hidup yang lebih tinggi. Seiring pola hidup dan meningkatnya standar hidup, konsumsi produk hewani pun meningkat. Daging, telur, susu, dan produk olahannya selalu digunakan sebagai dasar asupan protein. Dan konsumsi produk peternakan di Indonesia sangat rendah dibandingkan dengan negara lain, terutama negara maju. Dengan kata lain, standar hidup di Indonesia cukup rendah.

Namun yang menjadi fokus perhatian dalam peternakan adalah persaingan antara pakan dan pangan. Sistem pemberian pakan dalam budidaya ternak membutuhkan sumber daya yang sama dengan yang dikonsumsi oleh manusia. Biji-bijian dan tepung kedelai merupakan komponen terbesar untuk pakan ternak yang juga dikonsumsi oleh manusia. Diprediksi sekitar 50% cadangan biji-bijian dunia dipergunakan untuk pakan ternak. Jika semua biji-bijian dunia disediakan untuk konsumsi manusia, dunia dapat memberi makan 9 hingga 10 miliar orang dan persediaan mungkin akan stabil. Oleh karena itu, solusi untuk masalah pasokan kebutuhan pangan masa depan terletak pada pengembangan sistem peternakan yang tidak bergantung pada biji-bijian dan sereal.

Manfaat lain dari sistem pemberian pakan alternatif bebas biji-bijian akan berpengaruh pada berkurangnya polusi pada lingkungan, meningkatnya lapangan kerja, meningkatnya keanekaragaman hayati dan meningkatnya mutu produk hewani. Oleh karena itu, setiap intervensi dalam produksi ternak harus didasarkan pada peran sinergis ternak dalam kepentingan keseluruhan sistem pertanian, bukan pada perannya dalam menghasilkan daging, susu, dan telur dengan menggunakan pakan yang bersaing dengan kebutuhan manusia. Sekarang pangan tidak hanya digunakan sebagai pakan tetapi juga sebagai sumber energi. Peternakan

yang menggunakan pakan yang sama dengan kebutuhan manusia sebagai makanan, akan menimbulkan masalah di masa mendatang. Untuk itu diperlukan suatu terobosan dalam produksi ternak untuk menjaga keberlanjutan seluruh sistem pertanian.

Dalam sistem pertanian terpadu, fokus pada integrasi produksi tanaman dan peternakan adalah pada pertanian organik sebagai masukan untuk pertanian intensif. Berbagai kritik dan anggapan negatif menyatakan bahwa produktivitas pertanian organik yang selama ini dilakukan lebih rendah dibandingkan pertanian intensif. Namun melalui pandangan ekologi dan keberlanjutannya, pertanian organik dapat mencapai produktivitas tinggi dengan tetap menjaga keutuhan lingkungan dan dapat dijadikan sebagai akses manfaat konservasi dalam jangka panjang. Wawasan ekologis yang diperoleh melalui pengalaman masyarakat dalam mengelola sistem pertanian akan membentuk kebijakan pertanian dengan mengelola potensi sumber daya secara cermat, melalui pendekatan sistem pertanian hijau yang berwawasan ekologis.

Singkatnya, pertanian hijau adalah pendekatan yang menggabungkan pembangunan pertanian dengan konservasi keanekaragaman hayati untuk menjadikan pertanian terpadu berkelanjutan. Salah satu Contoh keterpaduan pertanian dan peternakan di Kabupaten Ngawi. Sistem peternakan dan tanaman pangan terpadu, disertai pemeliharaan kesuburan tanah melalui pupuk organik, dapat menjadi pilar upaya peningkatan produktivitas tanaman pangan dan peternakan. Oleh karena itu, sistem ini berpotensi meningkatkan pendapatan para petani dan peternak. Air seni sapi merupakan salah satu hasil sampingan dari peternakan. Air seni sapi merupakan hasil buangan dari peternakan dan dianggap tidak penting. Faktanya, urin sapi dapat diolah menjadi pupuk organik cair yang memberikan dampak positif bagi ekosistem lingkungan pertanian.

Pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan dan organik merupakan pendorong utama pembangunan pedesaan, dengan harapan dapat menciptakan kesejahteraan masyarakat di pedesaan, mencapai ketahanan pangan bagi seluruh petani, dan mengarah pada pembangunan sumber daya manusia dan alam yang menguntungkan. Hal ini harus dipromosikan sejauh mungkin. Pendekatan subsistem on farm merupakan salah satu strategi untuk membangun sistem pertanian terpadu, di mana

ketersediaan hasil pertanian menjadi topik pembahasan utama. Selain penggunaan mesin pertanian yang tepat, ketersediaan bahan baku pertanian juga sangat penting. Namun, pengelolaan ketersediaan sarana dan prasarana cukup tersedia untuk mencapai kesuburan tanah, karena menjadi prioritas dalam pertanian terpadu. Pemberian pakan ternak yang tepat adalah kunci untuk menghasilkan limbah ternak (urine) berkualitas tinggi.

Inovasi yang dihasilkan juga dapat diintegrasikan untuk mencapai keberhasilan yang maksimal dalam pertanian terpadu. Potensi menghasilkan produksi jerami padi rata-rata 4 ton/ha dan kemungkinan menghasilkan pakan berkualitas tinggi melalui fermentasi atau pengolahan secara amoniasi. Tentu saja, akan diperoleh pakan ternak berkualitas tinggi dan mencukupi untuk ternak, selain itu akan dihasilkan pula produk sampingan yang berkualitas tinggi. Contoh Ferinsa Plus merupakan produk inovatif yang memanfaatkan urine sapi dalam proses fermentasi untuk menghasilkan biofertilizer cair yang siap digunakan segera.

Oleh karena itu, peternakan dapat memberikan kontribusi dalam mengurangi biaya dan meningkatkan produktivitas dengan cara sebagai berikut:

- i. Menyediakan pupuk organik: limbah hewan dari peternakan dapat digunakan sebagai pupuk organik, meningkatkan kesuburan tanah dan kesehatan tanaman.
- ii. Penggunaan sumber daya secara efisien: Peternakan dan pertanian saling mendukung, di mana tanaman menyediakan pakan bagi hewan dan hewan menyediakan sumber nutrisi dari limbahnya berupa pupuk. Hal ini akan mengurangi ketergantungan pada masukan eksternal dan menjaga biaya tetap rendah.
- iii. Diversifikasi Produk: dengan memadukan pertanian dan peternakan, memungkinkan petani menghasilkan berbagai produk (daging, susu, biji-bijian, dan hasil pertanian lainnya), sehingga meningkatkan pendapatan dan ketahanan ekonomi petani.
- iv. Peningkatan Produksi: Sinergisitas antara peternakan dan pertanian akan meningkatkan produksi keseluruhan, mendukung ketahanan pangan dan mengurangi biaya produksi melalui efisiensi.

1.6. Peluang dan Tantangan dalam Pertanian Terpadu

Pada awal tahun 2010-an, pengenalan digitalisasi menyebabkan perkembangan baru di bidang pertanian dilakukan. Produk digitalisasi tersebut seperti, sensor dan aktuator yang murah dan berkinerja tinggi, mikroprosesor berbiaya rendah, komunikasi seluler bandwidth tinggi, sistem TIK berbasis cloud, dan *Big Data Analitic*. Istilah yang umum digunakan terkait dengan digitalisasi meliputi Pertanian 4.0, *Smart Agriculture*, *Intellegence Agriculture* dan *Digital Farmin*, atau *Digital Agriculture* (CEMA, 2017).

Perkembangan pertanian saat ini semakin banyak menggunakan teknologi komputer dan komunikasi untuk membuat pertanian lebih menguntungkan dan berkelanjutan. Pemanfaatan Drone, robotika, Internet of Things (IoT), pertanian vertikal, kecerdasan buatan (AI), dan pemanfaatan energi matahari. Dengan mengintegrasikan teknologi digital ke dalam praktik pertanian, petani dapat meningkatkan hasil panen, mengurangi biaya, mengurangi kehilangan panen, dan meminimalkan penggunaan air, bahan bakar, dan pupuk (Yahya, 2018). Dengan memanfaatkan teknologi seperti IoT, big data, dan platform digital, sistem tersebut dapat meningkatkan kesejahteraan petani, meminimalkan dampak lingkungan, dan memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat. Namun, penerapan teknologi yang lebih optimal memerlukan dukungan dari pemerintah, sektor swasta, dan pelatihan bagi petani.

Meskipun memiliki beberapa manfaatnya, penerapan pertanian terpadu sering kali menghadapi banyak tantangan, terutama dalam konteks budaya dan tradisi yang mendasari sistem pertanian konvensional yang selama ini dilakukan oleh tetuahnya. Beberapa tantangan terbesar meliputi:

- i. Mengubah kebiasaan dan tradisi, Banyak petani masih menggunakan metode tradisional selama bertahun-tahun yang diwariskan dari generasi ke generasi. Hal ini membuat mereka ragu untuk menerapkan sistem baru yang mereka anggap rumit atau berbeda. Selain itu, beberapa komunitas menganggap praktik tertentu sebagai bagian dari identitas budaya mereka, sehingga sulit untuk menggantikannya dengan sistem secara terpadu yang menggabungkan teknologi dan teknik modern.
- ii. Keterbatasan pengetahuan dan pendidikan, kurangnya pengetahuan dan keterampilan yang diperoleh dalam pertanian

- organik, sehingga petani tidak memiliki akses terhadap pengetahuan tentang manfaat dan fungsi sistem pertanian terpadu. Kurangnya program pelatihan untuk membantu petani memahami dan menerapkan pendekatan ini.
- iii. Resistensi terhadap perubahan, Petani puas dengan metode yang dilakukan secara turun temurun, karena terbukti efektif, meskipun tidak efisien atau tidak berkelanjutan. Penggunaan pupuk kimia dan pestisida telah menjadi kebiasaan yang sulit diubah.
 - iv. Takut terhadap risiko, petani sering merasa nyaman dengan metode tradisional karena terbukti efektif, meskipun tidak efisien dan tidak berkelanjutan. Hal tersebut membuat mereka khawatir dengan risiko yang diterima ketika menggunakan sistem pertanian yang baru
 - v. Keterbatasan infrastruktur, Pertanian terpadu sering kali membutuhkan alat, teknologi, atau fasilitas tambahan yang sulit diakses oleh petani di daerah terpencil. Hal yang sama berlaku untuk memasarkan hasil produksi yang bervariasi. Sistem terpadu menghasilkan berbagai jenis produk (misalnya tanaman pangan dan ternak) sehingga memerlukan strategi pemasaran yang lebih kompleks.
 - vi. Masalah sosial ekonomi, biaya awal yang lebih tinggi, seperti pembangunan kolam ikan dan kandang ternak tinggi. Petani kecil sering kali tidak memiliki modal atau sumber daya untuk mendirikan sistem terpadu.
 - vii. Regulasi dan Dukungan Pemerintah, Dukungan pemerintah masih belum optimal dan fokusnya masih pada pertanian konvensional. Oleh karena itu, petani tidak memiliki cukup insentif untuk beralih ke sistem terpadu.
 - viii. Kepemilikan lahan, lahan menjadi semakin sempit, karena adanya pembagian lahan dari satu generasi ke generasi lain, yang mengakibatkan berkurangnya penggunaan lahan untuk pertanian, malah lahan lebih pada keperluan industri dan perumahan, sehingga menyulitkan integrasi ke dalam sistem pertanian terpadu.

BAB 2.

SISTEM PERTANIAN TERPADU

2.1. Konsep Sistem Pertanian Terpadu

Jika kita menengok ke zaman dahulu, kita dapat mengetahui bahwa mata pencaharian nenek moyang kita pada umumnya bergantung pada pertanian. Mereka mengoperasikan sistem pertanian secara tradisional, mengutamakan keseimbangan alam sebagai sistem pertanian (sistem alamiah). Pada saat itu, keberadaan benih, pupuk, dan pestisida berkualitas tinggi belum dikenal. Mereka menggunakan benih yang sudah ada di alam dan tumbuh secara lokal. Tidak ada pupuk yang digunakan dan jerami yang tersisa setelah panen dikembalikan ke lahan. Pupuk yang mereka tahu adalah kotoran sapi. Mereka membangun rumah kecil di lahan itu untuk membuang limbah pertanian dan keluarga. Mereka sadar akan hama dan penyakit tanaman tetapi tidak memberantasnya dengan menggunakan bahan kimia, justru alam yang memegang kendali. Hasilnya, nenek moyang kita memiliki kehidupan yang nyaman dan sejahtera. Konsep pertanian inilah yang dikenal dengan sistem pertanian masukan eksternal rendah, yaitu hanya memerlukan sedikit atau tidak memerlukan masukan eksternal. Sistem pertanian ini terdapat di berbagai agroekologi dan sosial budaya.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-20 memberikan dampak pada penggunaan Teknologi dari luar (*high external input technology* = HEIT), ditandai dengan adanya varietas unggul yang responsif terhadap pupuk tetapi sensitif terhadap serangan hama dan penyakit. Hal ini menyebabkan penggunaan pupuk dan pestisida di lahan digunakan secara berlebihan, sehingga berdampak pada kerusakan tanah dan lingkungan. Sementara itu, upaya untuk mengoptimalkan sistem tampaknya sulit dilaksanakan, bahkan ketika produksi pertanian menunjukkan tanda-tanda “*leveling off*”, masih jauh dari apa yang diharapkan. Dengan kata lain, sistem HEIT tidak menjamin hasil pertanian berkelanjutan (*sustainability*).

Sebuah konsep untuk masa depan pertanian telah ditawarkan yang disebut Pertanian Berkelanjutan dengan Input eksternal rendah (*low external input sustainable agriculture*, LEISA). LEISA dipandang sebagai sistem yang memberi harapan pada penghidupan yang layak bagi petani, berdasarkan optimalisasi sumber daya lokal yang tersedia, dengan pendekatan yang “keseimbangan”, dan tetap mempertahankan kesehatan lingkungan.

LEISA mencakup Sistem Pertanian Terpadu (SPT) atau (*Integrated Farming Sistem*, IFS). SPT merupakan suatu sistem yang memadukan peternakan tradisional, budidaya perairan, hortikultura, agroindustri, dan seluruh kegiatan pertanian. Kotoran (limbah) yang dihasilkan hewan ternak digunakan sebagai pupuk tanaman, dan sisa tanaman digunakan sebagai pakan ternak. Sistem pertanian terpadu dengan cepat mengubah peternakan tradisional, budi daya perairan, hortikultura, agribisnis, dan semua aktivitas pertanian di banyak negara, terutama di wilayah tropis dan subtropis yang lembab (tetapi tidak gersang). Dalam berbagai kasus pertanian di seluruh dunia, yang terjadi saat ini, tidak akan berhasil tanpa didukung oleh biaya operasional yang tinggi, tanpa memikirkan keberlanjutan ekonomi dan kelestarian lingkungan. Situasi ini diperburuk oleh kenyataan bahwa SPT harus membayar semua biaya, dengan bahan dan alat yang di impor dari luar, yang berpotensi menimbulkan polutan.

SPT memberikan solusi dari semua masalah yang dihadapi saat ini, tidak hanya dari sudut pandang ekonomi dan lingkungan, tetapi juga dengan menyediakan sarana produksi yang diperlukan, seperti bahan bakar, pupuk, dan makanan, selain terus meningkatkan produktivitas. Hal tersebut dapat mengubah sistem pertanian yang berisiko (terutama di negara-negara miskin) menjadi sistem yang layak secara ekonomi dan seimbang secara ekologis.

2.2. Sistem Keterpaduan

Sistem keterpaduan menggunakan pengelolaan pertanian melalui pendekatan holistik, yaitu memadukan berbagai aspek produksi pertanian, peternakan, perikanan, dan kehutanan menjadi suatu sistem yang saling mendukung. Tujuannya adalah untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi sumber daya alam dan sumber daya manusia, serta

tetap menjaga keberlanjutan ekologi. Konsep ini berfokus pada siklus tertutup, yaitu menggunakan sumber daya internal seperti limbah organik dari satu komponen (misalnya, kotoran ternak) untuk mendukung komponen lain (misalnya, pupuk organik untuk tanaman).

Ketika kita menengok kembali masa lalu, ketika pertanian terancam di seluruh dunia, kita melihat petani miskin berjuang untuk memberi makan diri mereka sendiri dan berusaha memenuhi kebutuhannya dari tanah yang dikelola, ternak, dan tanaman mereka. Kotoran yang dihasilkan hewan ternak digunakan untuk menyuburkan tanaman, sedangkan sisa tanaman digunakan sebagai pakan ternak. Untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas, mereka tidak menggunakan input dalam jumlah besar seperti pupuk kimia dan pakan produksi industri, yang membuat kegiatan pertanian menjadi tidak ekonomis.

Petani yang membudidayakan ikan dalam sistem peternakan yang terpadu telah membuat langkah besar, karena mereka tidak hanya mendapatkan lebih banyak pupuk dari limbah ikan tetapi juga meningkatkan pendapatan mereka melalui panen ikan lebih awal dan harga pasar yang lebih tinggi. Kolam yang lebih dalam dapat meningkatkan produktivitas ikan dan nilai pupuk serta limbah ikan, tetapi kolam ikan juga dapat menjadi sumber polusi.

Pengolahan limbah ikan secara anaerobik di proses pengomposan (fermenter) dengan penambahan energi biogas dan pengolahan aerobik di tangki pengumpul meningkatkan produksi pupuk dan nutrisi tanpa menggunakan oksigen terlarut dalam air. Teknologi yang lebih murah tersebut dengan memberikan masukan yang lebih baik akan meningkatkan hasil.

Mengingat fakta bahwa semua nutrisi dan makanan digunakan untuk meningkatkan produktivitas, sehingga petani akan jauh lebih baik dalam peningkatan kesejahteraannya. Energi juga membantu petani memproses, menyimpan, dan memberikan nilai tambah serta mengurangi risiko produksi. Ini disebut "sistem pertanian terpadu".

Kombinasi kegiatan peternakan dan budidaya pertanian telah membantu dan memotivasi petani di seluruh dunia di masa lalu, karena kotoran ternak telah digunakan sebagai pupuk bagi tanaman dan residu tanaman telah digunakan sebagai pakan untuk ternak. Secara umum, sebagian besar pupuk kehilangan setengah kandungan nitrogennya

sebelum menjadi nitrat yang tersedia bagi tanaman. Seiring bertambahnya populasi tanaman, maka jumlah kandungan tersebut tidak lagi mencukupi, dengan demikian pupuk kimia serta pestisida buatan harus digunakan, inilah yang menyebabkan berkurangnya keuntungan yang diperoleh petani, khususnya petani kecil.

Pemaduan antara sektor perikanan dan pertanian dalam sistem peternakan dapat meningkatkan ketersediaan pupuk dan pakan, serta meningkatkan nilai pasar ikan sebagai sumber pangan. Penambahan yang signifikan dari siklus kedua yang dihasilkan oleh kotoran ikan memberikan keuntungan bagi proses pengintegrasian. Hal ini telah diteliti oleh M. Prein dari ICLARM Malaysia dalam karyanya "*Integration of Aquaculture into Crop-Animal Systems in Asia*".

Perlu diketahui bahwa siklus kedua dari integrasi tiga komponen tersebut, mengindikasikan bahwa nutrisi yang dihasilkan dari peternakan dimanfaatkan untuk pemupukan pada pertumbuhan berbagai jenis plankton alami di kolam, yang nantinya menjadi makanan bagi ikan. Hasil perikanan dapat meningkat hingga 3 sampai 4 kali lipat, sebagaimana yang telah dipraktikkan di negara-negara seperti Cina, Thailand, Vietnam, India, dan Bangladesh. Ikan yang mengonsumsi plankton kemudian menghasilkan kotoran mereka sendiri, yang secara alami berkontribusi pada siklus bahan makanan kedua. Kotoran ini kemudian digunakan untuk memupuk berbagai tanaman yang tumbuh mengapung di permukaan air, seperti yang diterapkan di sebagian wilayah Cina. Sekalipun praktik ini telah menjadi suatu langkah kemajuan, masih memerlukan beberapa masukan eksternal untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan poses agroindustri. Maka dari itu tidaklah cukup untuk mengangkat petani kecil keluar dari kemiskinan, jika terjadi peningkatan biaya-biaya produksi, seperti pupuk kimia, bahan bakar dan makanan buatan, yang mempunyai efek kurang baik pada hasil dan mutu, proses produksi dan ekonomi pertanian.



Gambar 3. Keterpaduan ikan dan ternak di persawahan

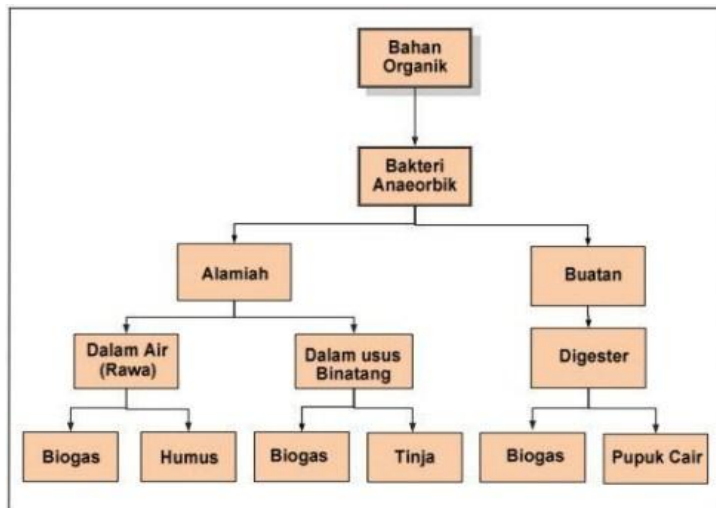
Inovasi lebih lanjut untuk peningkatan produktivitas sangat diperlukan dalam mendukung kesempurnaan sistem pertanian terpadu. Ini merupakan suatu diupayakan yang sedang dilakukan oleh ZERI (*Zero Emission Research Initiative*), merupakan Sistem Biomas Terpadu/*Integrated Biomas Sistem* (IBS), seperti didokumentasikan oleh Gunter Pauli dalam “*Upsizing*”.

2.3. Pengolahan dengan Digester

Konversi dan penggunaan kotoran sapi dan limbah organik atau biomassa dapat menjadi bahan bakar terbarukan dalam bentuk biogas sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomi petani. Selain itu, produksi biogas juga menghasilkan produk sampingan yang dapat digunakan sebagai pupuk cair dan padat. Inovasi terpenting untuk pengolahan tersebut meliputi SPT (Sistem Pertanian Terpadu) dan DIGESTER untuk memproduksi energi yang lebih. Oleh karena itu, pemanfaatan sisa pertanian dan limbah organik dapat meningkatkan kondisi kehidupan dan standar kesehatan, melindungi lingkungan dan sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi. Dengan demikian sangat diperlukan pemanfaatan teknologi tepat guna memproses limbah pertanian dan kotoran sapi menjadi biogas atau produk lainnya.

Biogas adalah bentuk energi terbarukan yang dapat disediakan untuk mengendalikan sumber energi yang tak terbaharukan, murah, bersih dan sederhana untuk berbagai tujuan. Biogas secara bertahap dapat

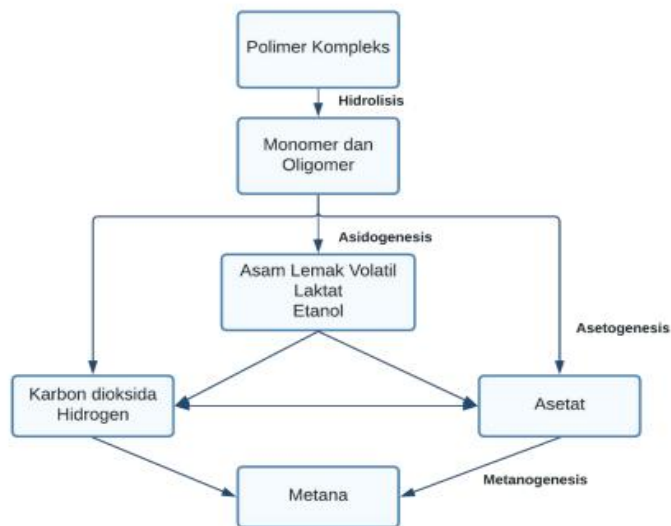
menggantikan pembakaran langsung bahan bakar fosil dan biomassa sebagai sumber energi untuk mengurangi efek samping pada lingkungan dan kesehatan manusia. Proses pembentukan biogas dapat dengan mudah dipahami dengan menggunakan teknik sederhana untuk mengubah limbah pertanian, hewan, industri dan perkotaan menjadi energi. Biogas adalah salah satu sumber energi terbarukan dan salah satu sumber energi yang paling luas dan mudah diakses. Sekarang ini adalah arah utama pengembangan energi terbarukan. Produksi bioenergi dari pupuk ternak dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Digester inilah yang digunakan dalam proses pengolahan biogas di perdesaan.



Gambar 4. Alur Pengolahan Limbah Ternak Menggunakan Digester

Biogas yang diproduksi melalui proses digestion non oksigen adalah komponen methana (CH_4 ; 55-70%) dan karbon dioksida (CO_2 ; 30-45%). Metana adalah bagian terbesar dari gas yang diproduksi dalam proses digestion anaerob, dengan potensi energi yang tinggi dan dapat digunakan untuk tujuan pemanasan dan pembangkit listrik. Biogas mengandung senyawa tergantung bahan baku yang dimasukkan ke dalam digester. Secara umum, komponen senyawa biogas yang besar terdiri dari 50-75% CH_4 dan 25-50% CO_2 serta beberapa senyawa penting, seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan uap air (H_2O). Dari 50-75% CH_4 dan Metana adalah komponen utama dari biogas yang berkontribusi terhadap molekul

CH₂ sehingga efek yang dihasilkan terhadap efek rumah kaca jauh lebih besar dibanding molekul Karbon dioksida (CO₂). Dengan demikian penggunaan metana dalam bentuk terbarukan dapat mengurangi dampak terhadap lingkungan.



Gambar 5. Tahapan digestion anaerobik dalam merombak bahan organik

Ada beberapa hal dari pandangan Mauritius yang harus dikritisi karena mengabaikan kegagalan masa lalu di seluruh dunia, seperti:

- Ψ Menyebarkan kotoran ternak di lahan dan membiarkannya sampai membusuk serta berharap sejumlah nutrisi yang tersisa setelah proses amoniak menguap dan nitrit tidak tercuci oleh hujan atau air irigasi.
- Ψ Melakukan pengomposan kotoran ternak dengan sampah rumah tangga untuk mendapatkan pupuk dengan kualitas rendah, karena amoniak dan nitrit telah hilang, sebagai gantinya pengolahan kotoran ternak dengan kualitas lebih baik, dan penggunaan sampah dengan memanfaatkan cacing tanah dan residu sampah sebagai pelembab tanah.
- Ψ Memperlakukan kotoran ternak secara tidak efektif seperti halnya tidak efisiennya *septic-tank* yang sudah ketinggalan jaman yang tidak lagi bermanfaat.



Gambar 6. Kotoran Ternak di Areal Peternakan

Proses pengomposan kotoran ternak dalam kondisi *an-aerob*, diikuti dengan oksidasi dalam bak terbuka menggunakan mikroorganisme alami akan menghasilkan oksigen bebas melalui fotosintesis, sebelum kotoran tadi mengalir ke dalam tambak, dapat mengkonversi hampir 100% bahan organik dan tidak mengurangi oksigen bagi keberlangsungan kehidupan ikan. Dengan demikian, secara teoritis, ada besar peluang untuk meningkatkan jumlah ikan sepuluh kali lipat tanpa risiko kontaminasi dan terjadinya polusi. Selain dari itu, terjadi peningkatan nutrisi yang siap digunakan dengan memberikan kemanfaatan bagi sistem tersebut, dengan ketentuan bahwa menggunakan secara total kedua komponen yang dipadukan, baik ikan maupun budidaya tanaman. Proses tersebut mengakibatkan “pengkayaan” (*eutrophication*) hara dalam air, sehingga mengatasi permasalahan, termasuk tambak itu sendiri.

2.4. Komponen Sistem Pertanian Terpadu

Peternakan selama ini memproduksi kotoran/limbah setiap harinya dalam jumlah yang sangat besar. Hal tersebut merupakan sumber daya dapat diperbaharui yang mempunyai nilai harga yang cukup tinggi dan akan mendukung keberlanjutan setiap aktivitas pertanian di lahan tersebut, bahkan tanpa masukan eksternalpun, seperti bahan bakar fosil, pupuk kimia dan nutrisi buatan proses pertanian dapat berjalan dengan baik. Di seluruh dunia, telah dipercaya bahwa pertanian terpadu dapat meningkatkan hasil dan bahkan kualitas tetapi dengan tambahan teknologi sehingga memerlukan biaya lebih besar. Tetapi kebanyakan petani pada

strata rata-rata dan petani miskin tidak dapat mengusahakannya, sementara petani pertanian terpadu menjadi kaya dengan produksi pertanian mereka.

Sistem pertanian terpadu memiliki potensi besar menjadi solusi bagi tantangan pertanian di masa depan, seperti degradasi lingkungan, perubahan iklim, dan kebutuhan ekonomi petani. Dengan mengintegrasikan komponen dalam sistem pertanian terpadu, akan meningkatkan efisiensi sumber daya, meningkatkan produktivitas, dan memberikan manfaat ekonomi yang positif bagi petani dan masyarakat. Berikut ini komponen-komponen tersebut memengaruhi pertanian di masa depan, melalui:

- a) **Pengelolaan Limbah untuk Pupuk Organik dan Energi;** Limbah dari ternak dan hasil panen dapat digunakan untuk menghasilkan biogas dan pupuk organik. Biogas dapat menggantikan bahan bakar fosil, sementara pupuk organik mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia. Hal ini dapat mengurangi biaya energi dan pupuk sehingga meningkatkan margin keuntungan petani. Contoh Peternakan sapi yang menghasilkan biogas dan kotoran sapi, seperti di Kab. Enrekang Sulawesi Selatan
- b) **Diversifikasi Usaha untuk Ketahanan Ekonomi;** Memadukan tanaman pangan, perikanan dan ternak memberikan penghasilan tambahan dan mengurangi risiko kegagalan panen bagi petani. Hal tersebut berpengaruh terhadap peningkatan pendapatan petani, karena hasil yang lebih beragam, serta meminimalkan risiko kerugian akibat cuaca ekstrem atau harga komoditas yang sering berubah-ubah. Contoh pertanian dengan sistem mina padi (ikan dalam sawah) di Jawa Tengah yang memungkinkan petani memanen padi sekaligus ikan.
- c) **Konservasi Sumber Daya Alam;** Sistem pertanian terpadu selalu memaksimalkan pemanfaatan lahan dan air. Limbah pertanian dan perikanan dapat difungsikan untuk mendukung pertumbuhan tanaman atau ternak, untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya. Hal tersebut dapat berpengaruh pada petani yang masih tetap dapat memanen hasil pertanian dan tetap menjaga kelestarian hutan, yang berkontribusi terhadap nilai ekonomi jangka panjang. Contoh Agroforestri di Kalimantan, yang mengintegrasikan tanaman hutan dengan pertanian dan peternakan.

- d) **Pengelolaan Risiko dan Adaptasi Iklim;** Keanekaragaman produksi dalam sistem terpadu membuat petani lebih tahan terhadap perubahan iklim, seperti kekeringan dan banjir. Hal tersebut dapat mempengaruhi pada Stabilitas pendapatan petani di tengah ketidakpastian cuaca. Contoh Petani di India yang mengintegrasikan sapi, unggas, dan tanaman tahan kekeringan untuk menjaga produktivitas di tengah iklim ekstrem.
- e) **Penguatan Pasar Lokal dan Nilai Tambah;** Produk dari sistem pertanian terpadu, seperti pupuk organik atau hasil ternak, memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi produk yang mempunyai nilai tambah. Hal ini sangat membuka peluang usaha baru dan menciptakan lapangan kerja di pedesaan. Desa-desa yang menghasilkan pupuk organik dari limbah peternakan dapat memasarkan ke petani lain.

2.5. Alat Pengompos

Sampah adalah bahan yang dihasilkan oleh kegiatan manusia maupun alam yang terbuang atau dibuang yang tidak memiliki nilai ekonomi. Sampah akan menjadi masalah yang serius jika tidak dikelola dengan baik dan benar. Penumpukan sampah yang terbuang di sembarang tempat dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan (tanah, air, dan udara). Akumulasi sampah berbahan dasar plastik dapat mempengaruhi struktur tanah, dan pembakaran sampah dapat menyebabkan polusi udara, serta pembuangan sampah di perairan dapat menyebabkan polusi air (air menjadi keruh, berbau, bahkan beracun).

Sampah dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu sampah organik dan anorganik. Sampah organik adalah sampah yang berasal dari bahan-bahan alami yang mudah terurai di alam, seperti tumbuhan yang sudah mati dan kotoran hewan, dsb. Sedangkan sampah anorganik adalah sampah yang berasal dari bahan-bahan non alami dan sulit terurai di alam, seperti plastik, kardus, karet, dsb (Reza *et al.*, 2022). Sampah yang digunakan dalam kegiatan sosialisasi ini adalah sampah organik yaitu memanfaatkan limbah dapur karena dapat ditemukan dengan mudah, serta dapat diolah menjadi pupuk organik berupa kompos, yang dapat membantu terciptanya kesuburan tanah.

Kompos merupakan pupuk organik yang diproduksi manusia melalui proses pembusukan sampah organik seperti sampah sisa dapur (sisa sayur, buah), kotoran hewan, maupun sampah organik lainnya yang telah mengalami dekomposisi. Menurut Thesiwati kompos tidak hanya menambah unsur hara, tetapi juga dapat menjaga fungsi tanah sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik. Penggunaan kompos sebagai sumber nutrisi tanaman merupakan salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan bahan kimia. Proses pengomposan dapat dipercepat dengan bantuan mikroorganisme, pada umumnya menggunakan larutan EM4. Proses pengomposan yang baik ditandai dengan penurunan rasio C/N dari waktu ke waktu.

Proses pengomposan membutuhkan alat pengompos (*composter*) dapat berupa alat sederhana seperti sepasang tas plastik dengan kapasitas 5 m³ atau drum bervolume 200 l untuk lahan yang kecil, atau struktur baja/beton bertulang dengan UASB (*upflow anaerobik sludge blanket*) untuk efisiensi yang maksimum bagi lahan yang besar atau perusahaan industri.

Alat pengompos tersebut dapat mengolah kotoran/sampah organik melalui pemisahan, penyelesaian (*settling*), pencernaan (*digestion*), pencairan (*liquefaction*) dan pemisahan cairan (*solid/liquid separation*), kemudian menghasilkan endapan/sedimentasi dalam tangki, untuk mengurangi BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), jika diukur kandungan bahan organik mencapai 60% atau lebih. Substrat dari endapan tersebut, secara biologis kondisinya sangat baik, dan dapat ditemukan secara alami dalam perut manusia dan binatang berdarah panas.



Gambar 7. Alat pengompos (*composter*)

Ketika sampah segar dimasukkan dalam alat pengompos, bakteri “mengkomsumsi” bahan organiknya dan mengubah bentuk senyawa amoniak (NH_3) dan nitrit (NO_2) yang tidak stabil ke bentuk nitrat (NO_3) stabil, senyawa ini merupakan nutrisi yang siap digunakan sebagai pupuk. Setelah itu hanya memerlukan pembalikan dan pembersihan bahan yang mengapung di permukaan dan dimasukkan pipa dengan bantuan penghisap, tanpa penambahan energi atau bahan-kimia.

Mesin pengompos akan menghasilkan biogas yang berlimpah, suatu campuran dari 2/3 gas metan dan 1/3 gas asam-arang (CO_2), ketika sampah ditambahkan. Biogas ini merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui dan digunakan dengan bebas bagi petani dan pengguna industri. Sekarang, perkebunan besar, tempat penyulingan, pengemas daging dan ikan, dan berbagai agro-industri dapat memenuhi kebutuhan energi mereka sendiri, dan mereka juga memiliki nutrisi yang cukup untuk pemupukan tambak ikan dan “fertigation” (pemupukan tanaman dengan air irigasi).

2.6. Oksidasi

Sawah, pertambangan batu bara, fermentasi enterik, dan tempat pembuangan akhir (TPA) adalah sumber metana antropogenik yang paling penting. Sumber TPA memiliki kekuatan sebesar antara 22 – 36 Tg CH_4 a⁻¹. Untuk mengurangi atau mengontrol emisi metana dari sumber-sumber ini, banyak penelitian telah dilakukan dalam beberapa dekade terakhir ini. Salah satu metode untuk mengurangi emisi metana dari tempat pembuangan akhir adalah pengomposan. Metode pengolahan limbah organik ini telah menjadi bagian integral dari pengelolaan limbah modern, dengan tujuan untuk mengurangi massa dan volume bagian limbah padat yang dapat terurai secara hayati. Kompos yang dihasilkan digunakan sebagian besar sebagai pupuk organik. Saat ini, Jerman memiliki lebih dari 600 pabrik pengomposan skala penuh yang menghasilkan antara 6 – 7 juta ton limbah biologis, dan pengukuran menunjukkan bahwa tumpukan kompos mengeluarkan sejumlah emisi metana yang cukup signifikan. Emisi ini dipengaruhi oleh dimensi dan kepadatan tumpukan, serta bahan masukan. Emisi metana dari fasilitas pengomposan diperkirakan sebesar $7,4 \times 10^6$ t CH_4 a⁻¹, yang setara dengan 0,31 – 0,44% dari total emisi metana di Jerman

Dalam satu penelitian, ditunjukkan bahwa tumpukan kompos jamur mengandung 2×10^8 metanogen termofilik per gram bahan kering, yang sebagian besar diidentifikasi sebagai *Methanobacterium thermoautotrophicum*. Namun, baik produksi metana maupun oksidasi masing-masing bertanggungjawab atas emisi metana bersih ke atmosfer. Bakteri pengoksidasi metana (MB) melakukan Oksidasi. Bakteri tersebut termasuk dalam Gamma proteobacteria (Methylococcaceae) dan Alphaproteobacteria serta genera *Methylocapsa* dan *Methylocella* secara filogenetik.

Telah diketahui bahwa metana hanya dihasilkan dalam kompos pada suhu tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan dalam kompos merangsang pertumbuhan mikroorganisme anaerobik, seperti metanogen termofilik. Studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa tumpukan kompos menghasilkan jumlah metana yang cukup besar.



Gambar 8. Bahaya dibalik menumpuknya gas metan yang belum terolah dengan baik.

Konsentrasi metana in situ yang tinggi yang diukur dalam studi ini memungkinkan bahan kompos yang digunakan sebagai penutup TPA dalam kondisi mesofilik menunjukkan potensi konsumsi metana, atau meningkatkan potensi oksidasi metana dari bahan penutup TPA. Suhu kompos meningkat lebih dari 55°C secara mandiri, dan karena tumpukan dibalik secara teratur maka suhu tinggi tersebut bekerja pada seluruh

bahan. Oleh karena itu, metanotrof mesofilik tidak mungkin mengurangi emisi metana dari tumpukan ini.

Salah satu cara untuk mengurangi emisi metana dari tempat pembuangan sampah adalah pengomposan, sebaliknya metana yang berada di atmosfer ditemukan berasal dari tumpukan kompos sendiri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas penghasil metana termofilik adalah aktivitas pengoksidasi metana termofilik itu sendiri, serta mengatur emisi metana dari tumpukan kompos. Penemuan ini harus mendorong penelitian lebih lanjut tentang sistem pengomposan sebagai lingkungan yang menarik untuk siklus metana termofilik.

Proses oksidasi lainnya, yang terjadi dalam bak secara aerobik (di mana oksigen terlarut dapat berasal dari atmosfer atau yang diproduksi oleh ganggang alami melalui fotosintesis) merupakan proses yang murah dengan penurunan 30% BOD. Proses ini terjadi di permukaan tanah seperti lantai hutan, tempat kotoran dari pohon dan hewan diubah menjadi humus yang relatif stabil. Tidak ada bau busuk yang menyertainya ketika terdapat cukup oksigen.

Organisme hidup yang memanfaatkan oksigen merupakan proses dekomposisi aerobik. Organisme tersebut menggunakan bahan organik sebagai sumber nutrisi, seperti nitrogen, fosfor, dan sebagian karbon. Sebagian besar karbon berfungsi sebagai sumber energi bagi organisme dan dibakar atau diserap dalam bentuk karbon dioksida (CO_2). Karbon dibutuhkan jauh lebih banyak daripada nitrogen. Sekitar dua pertiga karbon disertai dalam bentuk CO_2 , sedangkan sepertiga lainnya gabungan antara nitrogen dan CO_2 dalam sel hidup. Namun, jika terjadi kelebihan karbon atas nitrogen (rasio C: N) dalam bahan organik yang sedang terurai terlalu besar, maka aktivitas biologis berkurang. Setelah itu sebagian besar karbon dibakar melalui siklus metabolisme dalam organisme tersebut.

Ketika beberapa organisme mati, nitrogen dan karbon yang tersisa menjadi tersedia bagi organisme lain, yang digunakan untuk membentuk materi sel yang baru. Ketika organisme lain menggunakan nitrogen dari sel yang mati untuk membentuk materi sel baru, karbon yang berlebih diubah menjadi CO_2 . Akibatnya jumlah karbon berkurang dan jumlah nitrogen yang terbatas didaur ulang. Akhirnya nitrogen dilepas sebagai ammonia ketika rasio karbon yang tersedia terhadap nitrogen cukup seimbang. Dalam kondisi yang menguntungkan, sebagian ammonia dapat teroksidasi

menjadi nitrat. Berbagai mikronutrien, seperti Fosfor, kalium, juga sangat penting untuk pertumbuhan biologis. Hal ini biasanya terbentuk dalam jumlah yang cukup pada bahan yang dapat dikomposkan dan tidak menimbulkan masalah.

Sebagian besar energi dilepaskan dalam bentuk panas melalui oksidasi karbon menjadi CO_2 selama pengomposan secara aerobik. Suhu bahan organik akan meningkat hingga lebih dari 170°F selama terjadi penguraian jika disusun dalam tumpukan atau disusun sedemikian rupa sehingga memberikan sedikit insulasi. Namun, jika suhu melebihi 162°F hingga 172°F , aktivitas bakteri menurun dan stabilisasi melambat.

Pada suhu termofilik, oksidasi terjadi lebih cepat daripada pada suhu mesofilik dan, proses dekomposisi (stabilisasi) membutuhkan waktu lebih singkat. Suhu yang tinggi akan menghancurkan bakteri patogen, protozoa (hewan bersel tunggal mikroskopis), dan benih gulma, yang merugikan kesehatan atau pertanian saat kompos akhir digunakan. Oksidasi aerobik pada bahan organik tidak menimbulkan aroma yang tidak sedap. Jika ada baunya tercium, itu berarti prosesnya tidak sepenuhnya aerobik atau ada beberapa kondisi atau bahan tertentu yang menyebabkan timbulnya bau. Dekomposisi aerobik atau pengomposan dapat dilakukan di lubang, tempat sampah, tumpukan, jika oksigen cukup tersedia. Membalik bahan secara berkala atau teknik lain untuk menambahkan oksigen berguna dalam menjaga kondisi aerobik.



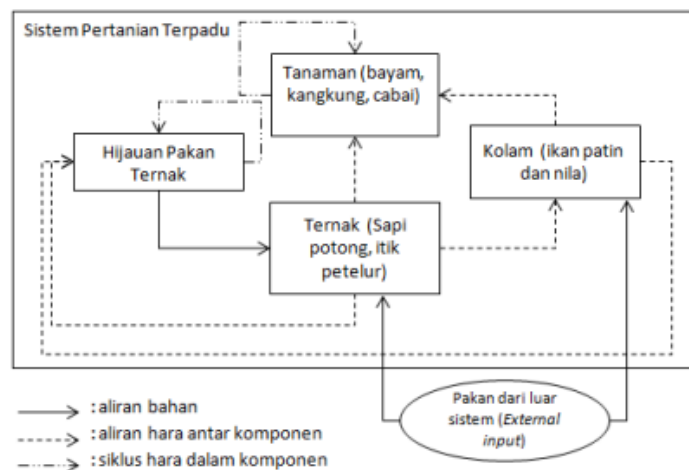
Gambar 9. Pengaliran Gas Oksigen melalui Pipa

2.7. Kolam Ikan Alternatif

Sisa bahan organik dari kotoran ternak akan segera dioksidasi di dalam tambak, hal ini berdampak pada rusaknya populasi ikan yang besar, selain itu, nutrisi yang tersedia untuk pertumbuhan yang oleh berbagai plankton. Plankton tersebut akan menjadi sumber nutrisi yang baik bagi 5 – 6 jenis ikan. Ikan herbivora (*herbivorous fish*) hanya memerlukan rumput yang tumbuh di daerah tersebut sebagai sumber nutrisinya.

Salah satu teknologi yang dapat diterapkan dalam mengkombinasikan komponen tanaman, hewan, tanah, air, iklim, dan manusia dalam sistem produksi agar saling melengkapi dan bersinergi adalah sistem LEISA (low-external input and sustainable agriculture. LEISA dapat membangun sistem pertanian terpadu yang menguntungkan secara ekonomis dan ekologis, dengan mengintegrasikan tanaman dengan ikan, unggas, dan kambing memberikan produktivitas lebih tinggi dari pada sistem padi-padi.

Model tanaman-ternak dan tanaman-ikan dapat menjamin keberlanjutan usaha di lahan sempit sambil mengurangi dampak lahan yang miskin hara C-organik, N, dan P_2O_5 . Siklus hara pertanian terpadu sebagai bagian dari sistem LEISA tampak pada Gambar 10. Pertanian terpadu dapat menghasilkan efisiensi dan produktivitas sumber daya air dan pemenuhan unsur hara.



Gambar 10. Aliran bahan dan hara pada pola tanaman-ternak-ikan dalam sistem LEISA pada pertanian terpadu

Seperti telah disebutkan, ikan menghasilkan kotoran mereka sendiri yang secara alami akan berfungsi dalam siklus nutrisi yang kedua, yang kemudian digunakan oleh tanaman yang tumbuh di kolam. Produktivitas yang tinggi seperti ini tidak ditemukan dalam sistem pertanian lain. Semua tersedia untuk siklus nutrisi dalam kolam, menghasilkan produksi ikan dan tanaman lebih tinggi, dengan ketentuan bahwa mutu air tidak mempengaruhi. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk menemukan inovasi dalam penggunaan/ penyerapan nutrisi dalam sistem perikanan, budidaya ikan dan tanaman, sebagai bagian yang tak terpakai (polutan). Ada juga kemungkinan untuk menggunakannya sebagai pupuk kering.



Gambar 11. Budidaya tanaman pertanian dengan budidaya ikan

2.8. Lahan Tanaman

Lahan diartikan sebagai lingkungan fisik yang terdiri atas lingkungan, relief, tanah, air dan vegetasi serta benda-benda yang ada di atasnya yang memberikan dampaknya pada penggunaan lahan, termasuk dampak dari hasil aktivitas manusia di masa lalu dan saat ini. Contohnya hasil dari reklamasi laut, pembersihan vegetasi dan juga dampak negatif seperti tersalinasinya air (Arsyad, 1989). Satu area di permukaan bumi yang memiliki karakteristik tertentu, meliputi biosfer, atmosfer, tanah, lapisan geologi, hidrologi, populasi tanaman dan hewan serta hasil

kegiatan manusia di masa lalu dan sekarang. Sifat-sifat tersebut dapat mempengaruhi fungsi lahan.

Praktik budidaya pertanian, khususnya pertanian konvensional, hampir selalu menimbulkan dampak negatif yang menyebabkan kerusakan lahan. Dua komponen penting dalam usaha pertanian yang potensial menimbulkan dampak pada sumber daya lahan adalah tanaman dan manusia (sosio kultural) yang menjalankan pertanian. Diantara kedua komponen tersebut, faktor manusialah yang berpotensi menimbulkan dampak positif atau negatif terhadap lahan, tergantung bagaimana cara mengelola lahan pertanian. Aktivitas atau cara budidaya dengan tindakan pertanian yang berpotensi menimbulkan dampak negatif antara lain pengolahan tanah, penggunaan agrokimia yang tidak ramah lingkungan (pupuk dan insektisida), serta sistem budidaya.

Beberapa contoh peranan manusia terhadap luas lahan kering yang belum dimanfaatkan secara optimal, berpotensi terjadinya peningkatan alih fungsi lahan. Untuk meminimalkan terjadinya hal tersebut maka perlu mengintensifkan lahan pertanian yang sudah ada dengan cara penerapan sistem pertanian terpadu. Secara umum pemanfaatan lahan kering baik di dataran rendah maupun dataran tinggi telah menerapkan konsep pengembangan pertanian terpadu di mana terdapat komponen pemeliharaan tanaman, komponen pemeliharaan ternak serta penanganan limbahnya walaupun sering teknologi yang diterapkan masih bersifat tradisional dan tidak terintegrasi. Pada aspek pemeliharaan tanaman, komponen produksi masih sering dilaporkan rendah.

Dalam pengelolaan usahatani lahan kering ada beberapa masalah, diantaranya, sistem budaya pertanian yang bersifat sederhana, orientasi usahatani yang bersifat subsisten dan faktor iklim terutama curah hujan. Semua masalah tersebut mempengaruhi pola usahatani di lahan kering. Sebagian besar masyarakat di wilayah Timor (termasuk kabupaten Kupang) mengusahakan bentuk usahatani tanaman pangan dan ternak sebagai sumber penghidupan dan pendapatan. Usaha tani tanaman tahunan biasanya diusahakan secara terpisah dari unit lahan untuk pakan ternak, bahkan unit lahan ternaknya. Dampaknya dari usahatani lahan kering yang dikelola secara tidak efektif dan efisien, ditunjukkan oleh rendahnya tingkat produktivitas petani.

Salah satu sistem pertanian terpadu yang diterapkan dengan menggabungkan berbagai jenis tanaman dan ternak, dengan fokus pada tanaman pisang sebagai potensi lokal daerah. Untuk meningkatkan pendapatan usaha tani dan produktivitas agroekosistem lahan kering, diperlukan pergeseran dari pola pertanian konvensional (monokultur) ke pola pertanian terpadu. Dalam hal ini, mengintegrasikan tanaman pangan, sayur-sayuran dan hijauan makanan ternak dan ternak sapi sesuai dengan potensi lokal. Diharapkan bahwa sistem tumpangsari (pisang-jagung, pisang-sayur, dan pisang-ternak) akan meningkatkan produktivitas dan efisiensi pemanfaatan lahan karena beberapa jenis tanaman yang ditanam dalam satu hamparan lahan dalam satu waktu. Istilah lain untuk sistem tumpangsari adalah pisang-jagung-sayur. Setiap musim dalam setahun, Pisang sebagai tanaman utama dan tanaman sela berupa tanaman jagung, sayur-sayuran dalam model tumpang gilir.



Gambar 12. Pola pertanian terpadu dengan tumpang sari jagung – pisang dan jagung – sayuran untuk lahan kering

Jika dibandingkan dengan model sistem konvensional, di mana masing-masing komoditas diusahakan secara parsial, maka sistem SPT akan meningkatkan produktivitas lahan lebih tinggi pada agroekosistem lahan kering zona dataran rendah. Dalam sistem pertanian terpadu seluruh potensi sumber daya, baik hasil sampingan atau limbah (komponen usahatani) yang dimiliki, akan dimanfaatkan secara optimal dengan prinsip *zero waste*. Prinsip *zero waste*, ini dimaksudkan bahwa limbah pertanian yang ada dalam sistem memiliki nilai ekonomi atau tidak ada limbah atau hasil samping yang terbuang percuma. Limbah ternak sapi memiliki potensi produksi 10kg/hari/ekor (Nutjahya, 2003). Apabila penggemukan

sapi dilakukan selama 6 bulan, maka total limbah kotoran ternak bisa mencapai 1800 kg/ekor. Model SPT ini akan memberikan peningkatan produktivitas lahan dari aspek ekonomi, sosial dan ekologi.

SPT berada dalam situasi yang berlawanan: banyak pupuk dalam SPT sementara kekurangan dalam sistem yang lain. Akibatnya, penggunaannya harus dilakukan dengan cara yang berbeda. Meskipun tanaman merambat dibiarkan tumbuh menjalar di sekitar kolam, beberapa negara telah berhasil menanam beberapa jenis sayuran di permukaan danau dan sungai. Di sisi lain, beberapa negara telah berhasil menanam biji-bijian, buah-buahan, dan bunga di atas bambu atau pipa polyurethane panjang yang mengapung di atas hampir separuh permukaan air kolam, tanpa mengganggu budidaya lima hingga enam jenis ikan yang ada di kolam.

Dengan penggunaan hampir setengah juta hektare danau dan tambak ikan di Cina, budidaya tanaman sekitar tambak dapat meningkatkan hasil tanaman. Ini dapat dicapai karena Sistem Pertanian Terpadu menyediakan nutrisi yang berlebihan. Budidaya tanaman air, atau aquaponics, juga meningkatkan pola penanaman. Sebagai contoh, padi ditransplanting dalam dua belas modul satu kali setiap minggu, dan dibiarkan berkembang dalam kolam tanpa irigasi atau pemupukan serta penyiangan. Setelah dua belas minggu, padi akan masak (dewasa) dan dapat dipanen. Untuk memulai siklus baru, padi dipanen pada minggu ketiga belas dan bibit semai ditanam lagi. Itu memungkinkan empat kali penanaman padi per tahun.

Contoh lain adalah teknik budidaya hidroponik buah-buahan, sayur sayuran dalam deretan pipa berbentuk bersegi tiga, dan diberi nutrisi yang berasal dari mineral di kolam, ditambah dengan unsur yang hilang, semua diserap oleh tanaman. Rangkaian ini memberikan hasil lebih tinggi per unit area permukaan bangunan hidroponik.

2.9. *Prosessing Hasil Pertanian*

Salah satu masalah besar dalam pemasaran hasil pertanian adalah penurunan harga ketika hasil pertanian sangat melimpah, yang mengakibatkan kerugian besar ketika produk tidak terjual. Untuk mencegah kerusakan produk yang melimpah, petani harus diberi sosialisasi dan pelatihan tentang proses pengolahan sederhana seperti pengasapan,

pengeringan, penggaraman, perendaman dalam larutan gula (sugaring) dengan prinsip pengawetan.



Gambar 13. Edukasi dan olahan hasil pertanian

Beberapa kegiatan pengolahan produk pertanian yang melimpah dapat dilakukan melalui prinsip-prinsip pengawetan, antara lain:

a) Pemanasan

Pemanasan merupakan perlakuan atau prosedur pengawetan terhadap komoditas pertanian dengan memanfaatkan suhu tinggi atau panas untuk membunuh bakteri atau kuman pada hasil pertanian sekaligus memperpanjang umur simpan. Sebagian bakteri dalam bentuk vegetatif akan mati pada suhu 82-94° C, akan tetapi banyak spora bakteri akan bertahan selama 30 pada suhu air mendidih yaitu 100° C. Mikroba akan mati jika dilakukan sterilisasi pada suhu yang tinggi misalnya 121°C selama 15 menit atau lebih, tergantung pada mutu dan jumlah substratnya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan uap panas, misalnya dalam autoklaf atau rektor. Pemanasan tidak hanya bertujuan untuk membunuh mikroba tetapi juga ditujukan untuk membunuh mikroba yang menyebabkan penyakit (patogenik).

b) Pendinginan

Perlakuan terhadap komoditas pertanian dengan pendinginan melibatkan penggunaan suhu rendah atau dingin untuk membunuh bakteri atau kuman di dalam hasil pertanian dan umur simpan yang panjang. Mikroba psikofilik dapat tumbuh hanya pada suhu 0° C atau lebih rendah, dan pertumbuhannya terhambat pada suhu 10°C. Mikroba tidak dapat berkembang biak jika air dalam makanan atau

komoditas pertanian telah membeku sepenuhnya. Namun, pada beberapa bahan pangan, sebagian air belum membeku sampai suhu-9⁰ C atau lebih rendah. Ini karena gula, garam, dan bahan lain yang mengurangi titik beku. Meskipun pendinginan dapat menghentikan pertumbuhan bakteri, itu tidak dapat membunuh semua bakteri.

c) Pengeringan

Pada keadaan normal, sebagian besar mikroba mengandung kadar air sekitar 80%, air ini berasal dari tempat mikroba tumbuh. Bakteri biasanya tidak dapat berkembang biak, Jika kandungan air dari dalam bahan pangan segera dikeluarkan. Pengeringan yang dilakukan terhadap bahan pangan bertujuan untuk mengurangi kebusukan akibat mikroba, tetapi tidak dapat dilakukan untuk membunuh semua mikroba. Oleh karena itu bahan pangan kering biasanya tidak steril. Apabila bahan pangan yang kering tadi ditambahkan air maka mikroba (bakteri) dapat tumbuh kembali.

d) Pengasapan

Pengasapan daging atau ikan biasanya dilakukan untuk mempertahankan (mengawetkan) atau menambah cita rasa. Selain itu pengasapan juga meningkatkan oksidasi lemak di dalam bahan pangan. Pengasapan biasanya menggunakan kayu keras yang mengandung bahan pengawet kimia yang diperoleh dari asap pembakaran selulosa dan lignin, dengan memanfaatkan suhu 57°C. Salah satu cara baru untuk pengasapan yang tidak memerlukan proses pengasapan panas adalah dengan menambahkan asap buatan berupa larutan yang mengandung komponen asap dalam makanan dengan cara dioles untuk menambah cita rasa, dalam metode ini fungsi asap sebagai bahan pengawet sedikit lebih berkurang.

e) Radiasi bahan Kimia

Radiasi pengion dapat digunakan untuk sterilisasi dan inaktivasi enzim, jika dosisnya berlebihan dapat mengakibatkan perubahan cita rasa, warna, tekstur dan dapat membahayakan kesehatan. Beberapa bahan kimia yang diijinkan untuk digunakan dalam makanan oleh BPOM yaitu natrium benzoat, asam sorbet, kalium propionate

2.10. Residu/Sampah

Residu pembakaran pertanian merupakan salah satu kegiatan pertanian yang berkontribusi terhadap dampak pemanasan global. Selama kegiatan pascapanen, bagian tanaman yang telah mengering biasanya dibiarkan menumpuk. Hal tersebut menyebabkan petani pada umumnya melakukan pembakaran jerami padi yang menjadi budaya petani selama ini. Meskipun hal ini lebih mudah dan cepat, namun kegiatan pembakaran membawa kerusakan pada lingkungan. Pembakaran jerami mengemisikan *black carbon* (karbon hitam) yang berkontributor terhadap pemanasan global. Secara umum, *black carbon* menyebabkan peningkatan temperatur sebesar $0,3^{\circ}\text{C}$ atau setara 1/6 bagian dari pemanasan global, belum termasuk kontribusi emisi gas rumah kaca lainnya seperti karbon dioksida yang dihasilkan dari pembakaran.

Berkat upaya dari pemerintah dan berbagai kalangan dalam mensosialisasikan pemanfaatan sisa hasil pertanian, bahwa petani sudah mulai meninggalkan kebiasaan membakar jerami padi. Pengolahan limbah jerami menjadi kompos adalah opsi umum yang ditawarkan dalam menangani pembakaran jerami. Meskipun proses pengolahan jerami terbilang mudah namun membutuhkan waktu dan teknologi agar jerami dapat terdekomposisi di dalam tanah hingga lahan dapat kembali digunakan.

Pengolahan jerami padi menjadi kompos merupakan pilihan termudah dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs). Namun ada berbagai cara lain bisa dilakukan untuk memaksimalkan nilai dari suatu residu atau *waste* dari pertanian. Dua di antaranya adalah mengolah limbah, khususnya jerami padi tadi, menjadi sumber energi biomassa dan bahan baku untuk pembuatan plastik yang ramah lingkungan. Jerami padi merupakan salah satu sumber biomassa berselulosa. Kandungan selulosa pada jerami cukup besar yaitu dapat mencapai 30-40%. Dengan kandungan selulosa yang tinggi, jerami memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi bahan pembuatan biofuel. Selain itu, berkat kandungan selulosanya tersebut, jerami padi juga dapat dijadikan material pembuatan plastik ramah lingkungan.



Gambar 14. Pengolahan jerami padi dan bahan organik lainnya

Contoh keberhasilan konversi limbah pertanian menjadi produk yang dapat digunakan kembali. Saat ini, banyak peralatan makan yang dibuat dari jerami gandum tersedia untuk dibeli. Peralatan makan dari jerami gandum (*wheat straw*) diklaim sebagai produk plastik ramah lingkungan karena mampu terdegradasi lebih cepat dari pada plastik dari minyak bumi atau polimer sintetik. Beberapa produsen produk terkait juga memastikan bahwa produk mereka *food safe* dan sesuai dengan standar yang berlaku. Bayangkan, jika jerami padi juga dapat diolah menjadi produk yang sama, pembakaran jerami mungkin tidak akan menjadi pilihan utama.



Gambar 15. Limbah jerami yang dapat diolah menjadi produk yang mempunyai nilai tinggi

Dengan mempertimbangkan bahwa SPT dengan memanfaatkan peternakan, di mana hanya menggunakan 15 – 20% makanan yang mereka konsumsi, dan mengeluarkan sisa dalam kotoran mereka, kandang menjadi tempat kaya bahan organik. Banyak dihasilkan biomas seperti *sludge* (kotoran cair), ganggang mati, *macrophytes*, sisa panen dan sisa prosesing. Kesemuanya harus didaur ulang (*recycle*) agar dapat digunakan lagi, hal yang betul-betul dilakukan dalam Sistem Pertanian Terpadu.

Kotoran cair (*sludge*), ganggang, *macrophytes*, sisa prosesing dan panen dimasukkan kantung plastik, disterilkan dengan uap (*steam*) lalu menghasilkan energi biogas, kemudian disuntikkan melalui lubang-lubang untuk budidaya jamur yang bernilai ekonomi tinggi. Enzim jamur tidak hanya memecah lignin-selulosa (*lignocellulose*) untuk melepaskan kandungan nutrisi, tetapi juga memperkaya residu, sehingga mudah dicerna dan bahkan menjadi makanan yang lebih “lezat” bagi ternak. Sisa residu berserat tetap dapat digunakan untuk kultur cacing tanah, yang kemudian menyediakan makanan dengan protein khusus bagi ayam. Residu akhir, meliputi cacing yang berlimpah, dikomposkan dan dimanfaatkan untuk perbaikan kelembaban dan aerasi tanah.

2.11. Persyaratan Tanaman Organik

Definisi pertanian organik menurut *Florida Organic Certification Program* adalah “sistem produksi pangan yang didasarkan pada metode dan praktik pengelolaan lahan pertanian dengan pemanfaatan rotasi tanaman, *recycling* sampah organik, aplikasi mineral alami untuk menjaga kesuburan tanah, dan pengendalian jasad pengganggu pun secara biologi”. Menurut Budianto (2002) “pertanian organik merupakan cara memproduksi bahan pangan dengan menggunakan bahan-bahan alami baik yang diberikan melalui tanah maupun secara langsung kepada tanaman dan hewan”.

Tidak semua jenis tanaman dapat ditanam sebagai tanaman organik. Di Amerika, beberapa lahan pertanian sudah disertifikasi untuk tanaman organik. Di negara bagian selatan dan barat Amerika misalnya, jeruk menjadi komoditas buah organik. Di negara bagian tengah (pusat) lebih banyak sayur-sayuran dan buah buahan yang dibudidayakan secara organik. Beberapa persyaratan tanaman yang akan ditanam dalam sistem pertanian organik, antara lain:

1. *Mempunyai nilai ekonomis tinggi:*

Sebenarnya, memilih tanaman organik adalah keputusan yang sangat pribadi dan berdampak pada finansial. Pilihan tanaman apa yang akan ditanam juga dipengaruhi oleh pangsa pasar (*market acceptability*). Di Indonesia, komoditas perkebunan yang mempunyai prospek untuk dibudidayakan secara organik adalah tanaman rempah-rempah (lada, panili, kapulaga, kayu manis, pala, dan kayu manis), tanaman obat (jahe), tanaman minyak atsiri (nilam dan serai wangi), dan tanaman perkebunan lain (kelapa, jambu mente, melinjo, dll.) berdasarkan pangsa pasar saat ini dan potensi eksponya.

2. *Kesesuaian antara tanaman dengan jenis tanah dan kondisi lingkungan:*

Tanah yang baik untuk menumbuhkan sayuran organik adalah memiliki drainase yang baik, kedalaman tanah yang cukup, dan kandungan bahan organik yang relatif tinggi. Penambahan mulsa dan kompos pada tanah berpasir selama tiga tahun, dapat menghasilkan produksi tanaman organik yang baik di Florida. Untuk mengembangkan pertanian organik di Indonesia, lahan harus memiliki karakteristik tertentu. Hal ini termasuk bebas dari bahan kimia buatan pabrik yang berasal dari pestisida dan pupuk buatan, serta bahan lain seperti pengatur tanah dan amelioran. Berdasarkan persyaratan teknis tersebut, sebagian besar lahan pertanian saat ini tidak cocok untuk pengembangan pertanian organik dan tidak dapat digunakan. Diharapkan peta perwilayahan komoditas pertanian unggulan nasional dari Badan Litbang Pertanian akan membantu dalam pemilihan lokasi usaha tani, termasuk pertanian organik.

3. *Tahan terhadap hama dan penyakit:*

Penggunaan tanaman yang mempunyai ketahanan terhadap penyakit merupakan salah satu metode pengelolaan jasad pengganggu yang paling efektif dan ekonomis.

BAB 3.

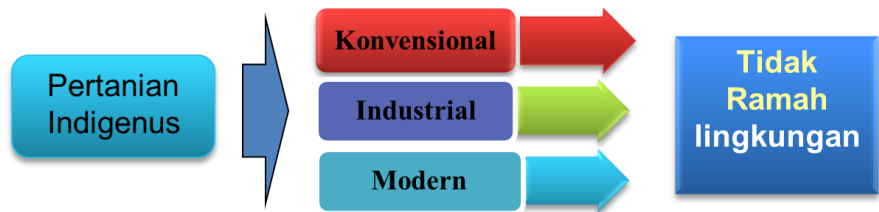
MODEL DAN PENERAPAN PERTANIAN TERPADU DI PERDESAAN

3.1. Sistem pertanian terpadu konvensional

Pada masa lalu, petani kita sering menggunakan sistem pertanian terpadu konvensional, tetapi sekarang banyak yang ditinggalkan. Tumpang sari antara tanaman palawija dan peternakan di mana sisa-sisa tanaman digunakan sebagai pakan kambing atau sapi dan kotoran ternak digunakan sebagai pupuk kandang untuk tanaman berikutnya, dan tumpang sari antara peternakan dan kolam ikan di mana kotoran ayam yang terbuang digunakan sebagai pakan ikan. Praktik pertanian terpadu konvensional ini tidak menunjukkan siklus yang berkelanjutan.

Model pertanian terpadu konvensional

- a. Tumpang sari antara peternakan ayam dan balong ikan (longyam) di mana kotoran ayam yang terbuang dimanfaatkan sebagai pakan ikan
- b. Tumpang sari antara tanaman palawija dan peternakan, di mana sisa-sisa tanaman digunakan sebagai pakan ternak kambing atau sapi dan kotoran ternak digunakan sebagai pupuk kandang bagi pertanaman berikutnya. Praktik pertanian terpadu konvensional ini belum tentu merupakan siklus yang berkelanjutan.
- c. Cina tradisional, kandang hewan dibangun di atas kolam sehingga limbah hewan jatuh langsung ke dalam air memberi bahan baku kepada ekosistem kolam, atau di Jawa Barat MCK dibangun di atas kolam ikan. Diperoleh ikan dan air kolam dengan ekstra unsur hara untuk mengairi tanaman. Sisa-sisa tanaman dibuang balik ke dalam kolam untuk menciptakan satu “sistem tertutup”.
- d. Sistem kuno yang menggunakan limbah manusia dan hewan (night soil) untuk menyuburkan kolam ikan direintroduksi dengan simpul baru: satu bioreaktor yang memungkinkan bakteri anaerobik memproses limbah lebih cepat dan lebih aman menjadi sumber daya pertanian yang bermanfaat.



Gambar 16. Perkembangan pertanian daerah tropika dengan berbagai sistem

3.2. Sistem Pertanian Terpadu dengan Teknologi EM

Institut Pengembangan Sumber Daya Alam (IPSA) di Bali dan beberapa sentra pertanian di Indonesia telah mengembangkan model sistem pertanian yang menggunakan teknologi Effective Microorganism (EM).

Memadukan budidaya tanaman, perkebunan, peternakan, perikanan, dan pengolahan daur limbah secara selaras dan berkesinambungan. Budidaya tanaman yang dipilih adalah tanaman semusim dan tahunan, misalnya padi, palawija, buah-buahan, sayur-sayuran, cengkeh, kopi, dan kelapa.

Budidaya tanaman menggunakan prinsip penggunaan masukan luar yang rendah, yang berarti kurang menggunakan banyak pupuk kimia dan pestisida, atau bahkan sama sekali tidak menggunakannya. Yang digunakan adalah teknologi EM yaitu mengubah limbah organik dari kotoran ternak dan sisa-sisa tanaman menjadi pupuk organik terfermentasi atau bokhasi dalam waktu yang cepat.

Bokhasi dapat digunakan sebagai pakan ternak atau ikan serta sebagai pupuk pertanian. Selain itu, teknologi EM dapat digunakan untuk difermentasi kotoran ayam dan kambing menjadi bokhasi pakan ternak, yang dapat digunakan untuk ayam, babi, dan itik. Alasan utama untuk menggunakan kotoran ayam sebagai bokhasi pakan ternak adalah bahwa kotoran ayam masih mengandung protein sebesar 14%, sedangkan kotoran kambing masih mengandung protein sebesar 12%, dan serat kasar sebesar 80% dibandingkan dengan hijauan pakan ternak (Wididana, 1999).

Model pertanian yang menggunakan teknologi EM dapat mengurangi masukan energi dari luar sistem pertanian untuk menghasilkan produk pertanian. Selain itu, proses fermentasi, yang dapat meningkatkan

kandungan nutrisi pakan ternak dari kotoran ternak, dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan sama sekali masukan energi dari luar sistem pertanian. Demikian juga dalam bidang budi daya tanaman, limbah tanaman yang terbuang dapat dimanfaatkan kembali sebagai pupuk melalui proses fermentasi.

3.3. Sistem Pertanian Organik

Pertanian organik adalah metode pertanian yang tidak menggunakan bahan kimia sintetis dan hanya menggunakan bahan alami. Padi, hortikultura sayuran dan buah (seperti brokoli, kubis merah, dan jeruk), tanaman perkebunan (seperti kopi, teh, dan kelapa), dan rempah-rempah adalah beberapa tanaman yang mungkin dikembangkan dengan teknik ini. Pengolahan pertanian organik didasarkan pada prinsip kesehatan, ekologi, keadilan, dan perlindungan. Prinsip kesehatan berarti bahwa kegiatan pertanian harus memperhatikan kelestarian dan peningkatan kesehatan tanah, tanaman, hewan, bumi, dan manusia secara keseluruhan karena semua elemen saling berhubungan dan saling bergantung. Pertanian organik juga harus didasarkan pada siklus dan sistem ekologi kehidupan dengan memperhatikan keberadilan antara manusia dan makhluk hidup lain. Untuk mencapai pertanian organik yang baik perlu dilakukan pengelolaan dengan berhati-hati dan bertanggung jawab melindungi kesehatan dan kesejahteraan manusia baik pada masa kini maupun pada masa depan.



Gambar 17. Pertanian organik

Dalam pertanian organik, pengetahuan ilmiah tentang ekologi dan teknologi kontemporer digunakan untuk mengembangkan metode pertanian tradisional yang bergantung pada proses biologis yang terjadi secara alami. Bidang ekologi pertanian adalah tempat studi metode pertanian organik dilakukan. Pertanian organik hanya menggunakan pestisida dan pupuk alami, tetapi pertanian konvensional menggunakan pestisida dan pupuk sintetis. Pertanian organik menggunakan prinsip-prinsip pertanian alami untuk meningkatkan produktivitas pertanian, seperti penggunaan legum untuk mengikat nitrogen ke dalam tanah, penggunaan predator untuk menanggulangi hama, rotasi tanaman untuk mengembalikan kondisi tanah dan mencegah penumpukan hama, dan penggunaan mulsa untuk mengendalikan hama secara biologis, dan pengkondisian tanah. Tanaman yang lebih unggul dan tangguh dikembangkan melalui pemuliaan tanaman dan tidak dimodifikasi menggunakan rekayasa genetika.

3.4. Sistem Pertanian Terpadu Modern

Sistem pertanian terpadu modern memadukan pertanian dan pemeliharaan hewan dengan memanfaatkan semua sumber daya yang tersedia dalam satu sistem. Petani bisa menanam berbagai jenis pangan seperti padi, jagung, palawija dan hasil pertanian lainnya. Selain itu mereka juga dapat memelihara sapi, kambing, ayam atau hewan ternak lainnya. Produk utama yang dihasilkan adalah beras, jagung, dan kedelai. Hasil tersebut bisa dijualnya oleh petani untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari atau bisa juga dikonsumsi oleh mereka sendiri. Limbah pertanian yang dihasilkan mencakup jerami padi, dedak, bekatul, jerami jagung dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak dengan nutrisi tinggi dan tahan lama. Metodenya adalah dengan menambahkan mikroorganisme dan urea untuk proses dekomposisi. Dengan metode ini pakan ternak yang bergizi dapat diproduksi dan disimpan hingga 1 tahun lamanya. Bayangkan jika semua limbah pertanian diolah dan dijadikan pakan ternak. Ini berarti petani tidak khawatir kekurangan pakan selama musim kemarau. Selain itu, penggunaan pakan dengan biaya rendah akan menekan total biaya produksi. Bahan seperti dedak padi, limbah kacang, limbah kedelai, ampas tahu, dan pulp dapat dimanfaatkan sebagai pakan konsentrat untuk mempercepat pertumbuhan ternak.

Produk utama yang diperoleh oleh petani dari usaha peternakan meliputi daging, susu, telur, dan bibit atau anakan. Hasil ini merupakan komponen umum dalam peternakan karena mereka adalah apa yang diharapkan untuk diperoleh. Selain itu, terdapat hasil tambahan dari peternakan yang berupa kotoran ternak, khususnya dari hewan ruminansia yang menawarkan banyak manfaat. Salah satu manfaat tersebut adalah kompos. Kompos dapat diperoleh dengan cara melakukan fermentasi terhadap kotoran ternak yang kemudian dicampur dengan dedak selama periode 3 hingga 5 hari. Kompos ini digunakan sebagai pupuk yang dapat meningkatkan kualitas tanah, kemampuan tanah dalam menahan air, dan aktivitas biologi, serta membantu memperbaiki pH tanah. Sebagai contoh, jika satu ekor sapi menghasilkan kotoran sekitar 25 kg dalam sehari, kita bisa membayangkan seberapa banyak kompos yang dapat dihasilkan dalam periode waktu tertentu.

Banyaknya kompos yang dihasilkan dapat menggantikan penggunaan pupuk kimia, sehingga membantu mengurangi biaya bagi para petani. Selain itu, potensi untuk mengembangkan kompos semakin besar karena produk pertanian organik menjanjikan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan pertanian konvensional. Juga, jumlah pemasok untuk pertanian organik saat ini masih sedikit, sehingga ada peluang besar bagi mereka yang ingin memanfaatkan pasar tersebut.

Manfaat berikutnya adalah bokashi, yang mirip dengan kompos, namun bahan utamanya adalah jerami padi atau limbah pertanian lain yang diproses menjadi pupuk. Cara penggunaannya mirip dengan kompos, tetapi pembuatan bokashi biasanya memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan pembuatan kompos.

Selanjutnya, ada biogas. Biogas dihasilkan melalui sistem bakteri yang memproduksi gas metan secara anaerob dengan menggunakan bahan organik. Sumber utama untuk bakteri ini adalah hewan ruminansia. Dengan memanfaatkan kotoran ternak sebagai sumber bakteri untuk menghasilkan gas metan, kita dapat memperoleh energi yang murah, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Dari satu ekor sapi, energi biogas yang dihasilkan dapat dipakai untuk memasak selama 2 hingga 3 jam penuh. Jika kita memikirkan jumlah sapi di Indonesia yang mencapai 10 juta, potensinya sebagai sumber energi biogas tentu sangat besar, memberikan banyak manfaat. Selain memproduksi biogas, reaktor biogas

juga menghasilkan pupuk cair dan padat organik siap pakai. Pupuk organik yang dihasilkan dari proses ini memiliki nilai lebih tinggi karena manfaat yang ditawarkannya melebihi kompos. Biogas juga terlibat dalam memutus mata rantai penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme.

Hal ini terjadi karena kotoran ternak yang mengandung patogen akan ditampung dalam reaktor anaerob. Hanya bakteri penghasil gas metan yang dapat bertahan dalam kondisi tersebut, sehingga hampir semua organisme aerob termasuk mikroorganisme penyebab penyakit akan mati. Oleh karena itu, biogas memang layak digunakan untuk menghentikan siklus penyakit.

Selanjutnya, terdapat penggunaan urine ternak dan limbah cair sebagai potensi lainnya untuk membuat pupuk cair. Limbah cair banyak dihasilkan terutama dari peternakan sapi perah, tetapi peternakan lain juga memiliki limbah cair yang dapat dimanfaatkan. Pupuk cair ini bermanfaat untuk tanaman hias, biasanya diaplikasikan melalui penyemprotan, atau untuk keperluan lainnya. Manfaat terakhir yaitu kotoran ternak yang dapat dipakai sebagai pakan ternak. Kotoran ayam khususnya dapat digunakan sebagai pakan ternak karena kandungan proteinnya yang masih tinggi. Kotoran kambing juga dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak.

Cara penggunaannya adalah dengan memberikan mikroorganisme dekomposisi pada kotoran ternak dan menyimpannya untuk waktu tertentu, lalu menepungkannya agar siap dipakai. Karena kadar protein yang masih tinggi, tepung dari kotoran ternak bisa digunakan sebagai pengganti jagung, kedelai, atau sumber protein lain yang biasa dipakai untuk pakan ternak. Namun, pemanfaatan kotoran ternak sebagai pakan belum banyak diterapkan karena ada nilai kepantasan bagi yang mengonsumsinya.

Dari penjelasan di atas, kita bisa melihat bagaimana sistem pertanian terpadu berfungsi. Pertanian menghasilkan produk utama yang bisa langsung dimanfaatkan oleh petani. Namun, hasil sampingan dari pertanian menjadi input bagi peternakan. Petani juga dapat memperoleh produk utama dari peternakan, dan hasil samping dari peternakan digunakan sebagai input bagi pertanian. Ketersediaan input dari dalam sistem pertanian terpadu sangat membawa manfaat bagi petani dan lingkungan. Alam memberikan contoh yang baik mengenai penerapan keseimbangan dalam sistem pertanian terpadu.

3.5. Hakikat Pertanian Terpadu

Pertanian terpadu pada dasarnya adalah memanfaatkan semua potensi energi sehingga hasil panen bisa lebih seimbang. Dalam pertanian, hidup organisme terlibat pada satu atau lebih tahap dan memerlukan tempat serta waktu tertentu dalam proses produksinya. Dengan menggunakan pertanian terpadu, terjadi pengikatan bahan organik dalam tanah dan penyerapan karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan pertanian konvensional dengan pupuk nitrogen. Untuk memastikan bahwa pemanfaatan ini bisa berjalan dengan baik dan juga efisien, sebaiknya kegiatan pertanian terpadu dilakukan dalam satu area tertentu. Dalam area ini, seharusnya ada sektor-sektor untuk produksi tanaman, peternakan, dan perikanan. Kehadiran berbagai sektor ini menjadikan kawasan tersebut memiliki ekosistem yang utuh dan semua elemen produksi tidak menjadi limbah karena akan digunakan oleh elemen lainnya. Ini akan menghasilkan peningkatan hasil panen dan pengurangan biaya produksi, sehingga efektivitas dan efisiensi dalam produksi dapat dicapai.

Di samping penghematan energi, keuntungan lain dari pertanian terpadu adalah petani akan memiliki berbagai sumber pendapatan. Sistem pertanian ini juga memperhatikan keberagaman tanaman dan polikultur. Seorang petani dapat menanam padi sekaligus memelihara kambing atau ayam dan menanam sayuran. Kotoran yang dihasilkan dari hewan ternak dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, sehingga petani tidak perlu membeli pupuk lagi. Jika hasil panen tidak berhasil, petani masih bisa mendapatkan pendapatan dari daging atau telur ayam, atau bahkan menjual kambing.

3.6. Penerapan Pertanian Terpadu

Usaha yang dilakukan dalam penerapan pertanian terpadu melibatkan penggabungan peternakan dan pertanian sebagai dua subsistem utama. Peternakan berfungsi sebagai bagian yang penting dalam sistem pertanian tersebut. Dalam analisis input peternakan, sapi membutuhkan pakan sekitar 50 kilogram setiap hari. Jenis pakan yang diberikan kepada sapi ini meliputi jerami dan sorgum. Untuk menambah kandungan gizi pakan jerami, sering kali ditambahkan pakan konsentrat yang berupa campuran jagung yang sudah digiling dan bekatul. Jika diperlukan, jagung giling bisa digantikan dengan ubi kayu. Konsentrat harus diberikan

sebanyak 1% dari total bobot pakan. Mengingat kebutuhan pakan yang tinggi, seringkali pasokan dari dalam tidak mencukupi, sehingga sebagian pakan harus diperoleh dari luar.

Sedangkan analisis output dari peternakan adalah berupa pupuk kandang, urin, dan kotoran sapi. Setiap tahun, seekor sapi dapat memproduksi pupuk kandang sekitar 5,4 ton, yang artinya mereka menghasilkan sekitar 15 kilogram kotoran setiap harinya. Berdasarkan kebutuhan lahan, diketahui bahwa lima ekor sapi mampu memenuhi kebutuhan pupuk organik dalam waktu satu tahun. Kotoran sapi perlu melalui proses dekomposisi selama 4 bulan agar dapat digunakan langsung sebagai pupuk di lahan pertanian.

Di samping pupuk kandang, peternakan juga menghasilkan pendapatan dari penjualan sapi. Pemilihan sapi sebagai subsistem utama dalam pertanian terpadu ini sangatlah tepat. Sapi berperan sebagai sumber hara bagi pertanian lainnya. Sebagai gambaran, pada tahun pertama terdapat lima ekor sapi, kemudian bertambah menjadi sepuluh ekor pada tahun kedua, dan lima belas ekor pada tahun ketiga. Di tahun keempat, jumlahnya meningkat menjadi tujuh belas ekor. Dari total tersebut, terdapat sapi jenis Simental, Limousin, dan Berangus. Sebagian dari sapi ini dapat dijual untuk membantu pendapatan petani, sementara delapan ekor lainnya tetap dipelihara untuk menjaga kesuburan tanah dan sebagai investasi di masa depan.

Keunggulan lain dari sapi adalah kemampuannya untuk berkembang biak dengan cepat. Pemeliharaan sapi untuk penggemukan memerlukan waktu antara 8 hingga 12 bulan. Kotoran dari lima ekor sapi yang dipelihara dapat memenuhi kebutuhan pupuk untuk satu hektare lahan pertanian. Setiap sapi mampu memproduksi 15 kilogram kotoran setiap hari, sehingga dalam setahun total kotoran yang dihasilkan mencapai 5,4 ton dan dapat digunakan sebagai pupuk.

Pertanian terpadu yang menggabungkan hortikultura dengan peternakan dapat menekan biaya produksi, karena sisa sayuran dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, sedangkan kotoran ternak menjadi pupuk bagi tanaman hortikultura. Tanaman hortikultura sangat penting bagi manusia untuk mendapatkan vitamin dan mineral. Sayuran hijau berfungsi sebagai sumber penting dalam pemenuhan nutrisi masyarakat. Dengan pertumbuhan populasi, peningkatan pendapatan, dan pendidikan yang lebih baik, masyarakat semakin sadar akan pentingnya nilai gizi dan

kesehatan. Berdasarkan laporan Departemen Pertanian pada tahun 2013, konsumsi sayur dan buah di Indonesia per kapita hanya mencapai 34,55 kg buah dan 40,35 kg sayuran per tahun, sedangkan warga Singapura dan Vietnam mengkonsumsi lebih dari 100 kg per tahun. WHO merekomendasikan agar konsumsi buah dan sayuran mencapai 73 kg per tahun.

Pertanian terpadu membantu mengurangi risiko kegagalan panen, karena masyarakat bisa menghindari ketergantungan pada satu jenis komoditas dan menghemat biaya produksi. Menurut Handaka dan rekan-rekan, sistem pertanian terpadu antara tanaman dan hewan adalah pendekatan pertanian yang ditandai dengan hubungan erat antara komponen tanaman dan hewan dalam usaha tani atau pada satu wilayah tertentu. Hubungan ini menjadi pendorong bagi pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan di daerah tersebut.

Pelaksanaan pemanfaatan lahan dengan pola diversifikasi usaha tani dan peternakan sapi memiliki beberapa keunggulan. Pola usaha tani terpadu bisa diterapkan kepada masyarakat agar lahan yang tidak terpakai dapat dimanfaatkan. Sisa dari hasil sayuran dapat menjadi pakan ternak, sehingga peternak tidak perlu mencari rumput yang memakan waktu, dan waktu yang ada bisa digunakan untuk kegiatan lain. Selain itu, kotoran hewan atau feses bisa dimanfaatkan sebagai pupuk untuk tanaman hortikultura.

Sistem pertanian terpadu ini melibatkan penanaman dengan metode multiple cropping. Jenis pertanian yang diterapkan mencakup penanaman tanaman musiman seperti jagung, singkong, cabai, kacang tanah, dan sawi, serta tanaman keras seperti jati dan sengon. Praktik tumpangsari, yang menggabungkan tanaman dan ternak, seringkali diterapkan dengan tanaman perkebunan. Sistem ini bertujuan untuk memanfaatkan lahan secara optimal, namun masih kurang mendapat perhatian.

Dalam pengaturan tumpangsari ini, tanaman perkebunan berfungsi sebagai komponen utama, sementara tanaman rumput dan ternak menjadi komponen kedua. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pengintegrasian tanaman perkebunan dengan peternakan dapat meningkatkan kualitas tanah, hasil tanaman, produktivitas hewan, dan menurunkan biaya untuk penyiangan.

Sistem ini menawarkan beberapa manfaat, antara lain: (1) adanya tanaman yang memberikan naungan bagi ternak, sehingga dapat mengurangi stres karena panas, (2) penambahan kesuburan tanah melalui kembalinya urin dan feses ke dalam tanah, (3) perbaikan kualitas pakan ternak dan pengendalian pertumbuhan gulma, (4) pengurangan penggunaan herbisida, (5) peningkatan hasil tanaman perkebunan, dan (6) peningkatan keuntungan ekonomi termasuk yang berhubungan dengan hasil ternak.

Input utama di dalam pertanian ini adalah bahan organik yang berasal dari daun yang jatuh, jerami, atau limbah dari peternakan sapi yang telah terurai. Pengolahan feses dan urin sapi biasanya masih melibatkan petani, dan sering kali ditambahkan MARROS Bio-Activa untuk mempercepat proses penguraian feses dan urin agar bisa digunakan sebagai pupuk.

Jerami pun dapat diolah menjadi pupuk kompos untuk tanaman. Meskipun jerami tersebut tidak diproses dengan biodekomposer, sebenarnya ada biodekomposer alami yang secara otomatis menguraikan bahan organik. Berbeda dengan biodekomposer yang ditambahkan, kemampuan biodekomposer alami sudah teruji dan lebih cepat dalam proses penguraian. Pada dasarnya, pelapukan adalah proses alami di mana mikroba (dekomposer) menggunakan jerami sebagai sumber energi untuk membangun biomassa, dengan rasio C, N, P yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman.

Input lainnya berhubungan dengan pengendalian hama dan penyakit dengan memakai taktik pengendalian hayati. Metode ini melibatkan penggunaan senyawa atraktan seperti metyl eugenol, yang berfungsi untuk menarik serangga lalat buah jantan melalui aroma yang menggodanya. Dengan demikian, lalat akan tersesat dan terperangkap.

Pertanian Terpadu.....Kenapa Tidak???

- Ψ **Tidak ada keraguan mengenai manfaat dari Sistem Pertanian Terpadu baik bagi petani, lingkungan maupun negara.**
- Ψ **Sistem Pertanian Terpadu merupakan strategi terbaik mengatasi kelangkaan sumber daya pertanian baik modal, pupuk, pestisida untuk meningkatkan produksi agar dapat mencukupi kebutuhan pangan yang terus meningkat.**

- Ψ Dengan Pertanian terpadu, hampir semua aktivitas pertanian secara ekonomi dapat menguntungkan dan secara ekologi berkelanjutan
- Ψ Dengan Sistem Pertanian Terpadu dapat menjawab tuntutan konsumen yang sadar mengenai pentingnya kelestarian lingkungan, kesehatan dan keamanan pangan, dan kesejahteraan tenaga kerja.
- Ψ Pengabaian konsep sistem pertanian terpadu, baik karena kedunguan atau karena prasangka bodoh akan menyebabkan kebanyakan petani tetap miskin dan kehilangan semua manfaat yang semestinya diperoleh dari sumber daya alam

3.7. Model Penerapan Pertanian Terpadu

Ada beberapa model pengembangan pertanian terpadu yang dapat dilakukan sesuai kondisi lingkungan, antara lain:

1. *Lahan Sawah*

Model ini dapat dilaksanakan dengan cara menggabungkan tanaman, hewan, dan ikan. Dengan pendekatan ini, petani dapat mendapatkan pendapatan dari hasil tanaman dan memanfaatkan limbahnya untuk membuat pupuk organik dan pestisida alami. Selanjutnya, metode budidaya terpadu ini bisa berkembang menjadi pertanian organik yang tidak menggunakan bahan kimia, menghasilkan komoditas berkualitas tinggi yang aman untuk kesehatan serta memiliki harga bagus.

Penerapan model ini melibatkan teknologi untuk mengolah limbah dari tanaman padi, seperti jerami dan dedak padi, yang bisa digunakan sebagai pakan untuk sapi. Sementara itu, kotoran sapi berfungsi sebagai bahan baku pupuk organik yang berguna untuk meningkatkan kesuburan tanah di lahan pertanian.

Jerami padi sebagai produk sampingan memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan pakan ternak. Rata-rata, produksi jerami padi dapat mencapai 4 ton per hektare, dan setelah difermentasi, dapat menyediakan pakan untuk dua sapi setiap tahun. Agar pakan ini dapat dimanfaatkan dengan baik oleh ternak, sebelum diberikan, jerami perlu dipotong, difermentasi, atau dilakukan amoniasi. Jerami yang sudah difermentasi dapat

digunakan sebagai pakan utama untuk sapi, tetapi bisa juga dicampur dengan pakan lain seperti biji-bijian hijauan yang ditanam di pinggir ladang atau kebun. Jumlah jerami yang diberikan menyesuaikan dengan ukuran sapi; sapi dewasa biasanya diberi 20-30 kg jerami setiap hari, ditambah sedikit air garam untuk meningkatkan selera makan. Penggunaan pakan tambahan seperti dedak atau hijauan disesuaikan dengan ketersediaan di lahan.

Kotoran sapi, yang terdiri dari feses, urine, dan sisa pakan, bisa diolah menjadi pupuk organik, baik dalam bentuk padat maupun cair, yang bisa digunakan di lahan pertanian. Satu ekor sapi dapat menghasilkan sebanyak 8-10 kg kotoran setiap hari dan 7-8 liter urine, dan jika diolah, bisa menghasilkan sekitar 4-5 kg pupuk organik. Dengan demikian, satu sapi dapat memberikan antara 7,3 hingga 11 ton pupuk organik per tahun. Dalam penggunaan pupuk organik di lahan pertanian, dianjurkan sebanyak 2 ton per hektare untuk setiap kali tanam, sehingga potensi pupuk organik yang dihasilkan bisa memenuhi kebutuhan untuk 1,8 hingga 2,7 hektare dengan dua kali tanam dalam setahun.

2. ***Lahan Perkebunan***

Lahan perkebunan dapat dimanfaatkan sebagai lahan pertanian yang terintegrasi, yaitu menggabungkan tanaman utama seperti sawit, kakao, kopi, teh, dan karet dengan ternak seperti sapi, kambing, ayam, atau bebek. Limbah dari tanaman sawit termasuk pelepah, daun, dan limbah pengolahan, serta kulit buah dari kakao dan kopi, bisa digunakan sebagai pakan ternak. Kotoran dari ternak dapat dimanfaatkan untuk pupuk dan sebagai sumber energi biogas. Tanaman sela yang dapat ditanam meliputi bahan pangan dan tanaman hortikultura. Perkebunan kelapa menjadi salah satu komoditas penting, terlihat dari luas area yang digunakan untuk perkebunan tersebut, khususnya untuk kelapa dan peternakan sapi potong, yang tercermin dari populasi ternak sapi yang ada.



Gambar 18. Potensi besar untuk pertanian terpadu kelapa sawit dan peternakan sapi

Integrasi juga dapat dilakukan dengan menanam tanaman sela atau *intercropping* di antara barisan tanaman utama seperti kelapa sawit, karet, atau kopi. Contohnya adalah menanam jagung, cabai, atau kacang tanah di lahan kelapa sawit pada fase di mana tanaman belum mencapai kanopi penuh, yang disebut TBM atau Tanaman Belum Menghasilkan. Beberapa contoh penerapan sistem ini meliputi SISKSA, yaitu Sistem Integrasi Sawit-Sapi di Sumatera Selatan; Kebun kakao dan hortikultura di Luwu, Sulawesi Selatan; serta kombinasi kelapa, ikan, dan hortikultura di Subak, Bali.

3. **Lahan Pekarangan**

Lahan pekarangan dapat memberikan banyak keuntungan dalam meningkatkan gizi dan pendapatan keluarga, serta menambah keindahan jika dikelola dengan baik dan teratur. Kebun rumah dapat dijadikan lokasi untuk program Kawasan Rumah Pangan Lestari (KRPL) di berbagai tingkatan seperti rumah tangga, komunitas, lingkungan, desa, kecamatan, dan kota. Kebun yang biasanya dimanfaatkan sebagai apotek hidup dengan menanam tanaman obat keluarga dan gizi hidup dengan menanam berbagai buah dan sayuran dapat dikembangkan menjadi sistem pertanian terpadu. Di lahan pekarangan, petani bisa menanam sayuran dan buah-buahan, tanaman obat seperti kunyit dan jahe, serta tanaman pangan seperti umbi-umbian dan kacang, sekaligus memelihara

ternak seperti unggas, ruminansia, dan ikan, serta menanam tanaman perkebunan.

Berikut adalah langkah-langkah untuk mengembangkan pertanian terpadu di lahan pekarangan:

Lahan Kecil (50 – 200 m²); a) zona tanaman vertikal, yakni membuat rak atau dinding untuk menanam sayuran. b) zona peternakan, membangun kandang ayam di sudut kebun dengan sistem pengumpulan kotoran. c) zona perikanan, yaitu kolam kecil yang dibuat di tempat yang mendapatkan sinar matahari. d) zona komposter, yang diletakkan di sudut yang jauh dari kegiatan sehari-hari.

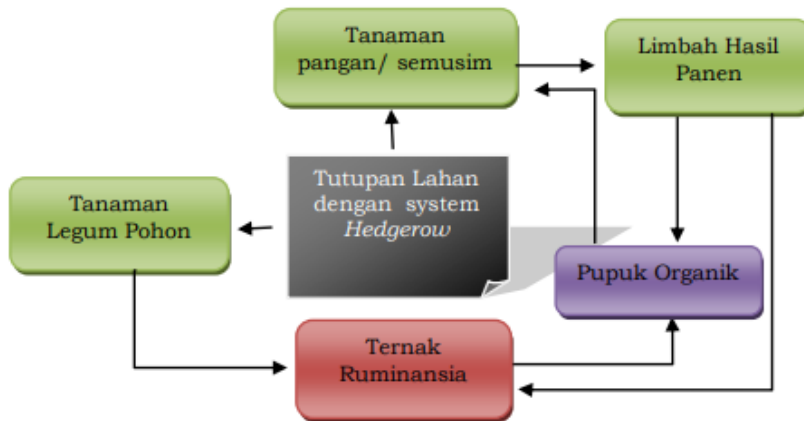
Lahan Sedang (200 – 500 m²); a) zona tanaman pangan: area untuk menanam sayuran dalam bedengan. b) zona tanaman buah: pohon buah ditanam di sepanjang pagar kebun. c) zona peternakan: area yang lebih luas untuk kandang ayam atau kambing. d) zona perikanan: kolam ikan sedikit lebih besar, seperti ukuran 2x3 m.

4. Lahan Konservasi

Lahan konversi merupakan area yang telah diubah dari fungsi aslinya, seperti hutan, padang rumput, atau tempat yang tidak produktif, menjadi lahan pertanian atau untuk tujuan lainnya. Untuk memastikan lahan ini dikelola dengan baik dan berkelanjutan, pertanian terpadu dapat menjadi opsi dengan menggabungkan berbagai kegiatan pertanian yang bertujuan meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan ekosistem.

Di lahan konservasi, bisa dilakukan kombinasi antara tanaman penutup yang bernilai ekonomi dan tanaman tinggi untuk konservasi, seperti pohon enau. Selain itu, terdapat juga tanaman yang dapat dijadikan pakan ternak, serta memelihara hewan ruminansia. Limbah dari ternak ini bisa diolah menjadi pupuk organik dan biogas sebagai sumber energi.

Penerapan model SPT pada lahan konversi yang berbasis Teknologi Hedgerow sebaiknya disesuaikan dengan pengetahuan dan kearifan lokal para petani di wilayah tersebut



Gambar 19. SPT dengan teknologi hedger di lahan konversi berbasis tanaman pakan, tanaman pangan/semusim dan ternak ruminansia

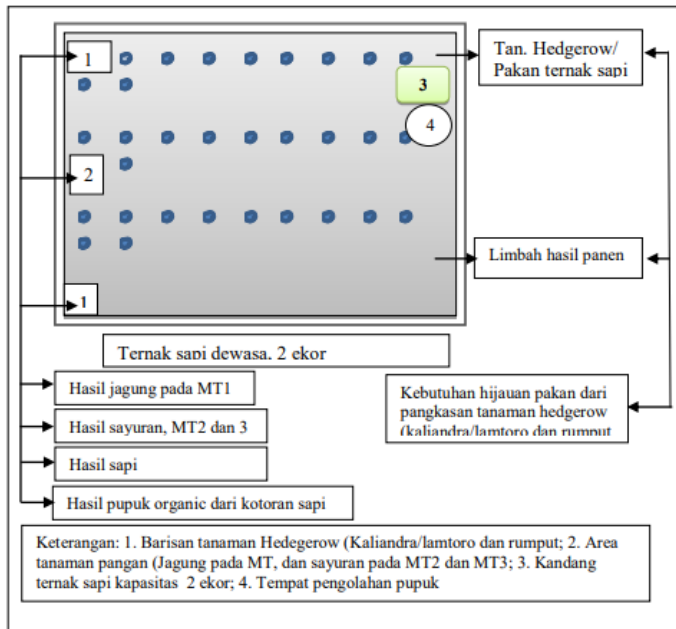
Pada gambar 19. kegiatan budidaya pertanian dapat dilakukan dengan memadukan berbagai komponen penyusun yang ada, yaitu: (1). Ternak sapi, (2) tanaman sayuran, dan (3). tanaman legume. Rumput sebagai tanaman penguat teras (tanaman konservasi). Jumlah ternak yang dimasukkan dalam sistem, sebanyak 2 ekor sapi bakalan untuk tujuan penggemukan, dan dipelihara secara intensif dalam kandang. Diantara barisan tanaman hedgerow (berupa lamtoro dan rumput yang ditanam sepanjang garis kontur teras) diusahakan tanaman jagung dan berbagi tanaman sayuran, seperti kubis, brokoli, sawi.

Strategi Pengelolaan Lahan Konversi;

- i. *Konservasi tanah dan air*; menggunakan terasering untuk mencegah erosi di lahan miring dan buat embung untuk menampung air hujan guna mendukung irigasi
- ii. *Rotasi Tanaman dan Pola Tanam*; melakukan rotasi tanaman untuk tetap menjaga kesuburan tanah, pola tanam tumpangsari (*intercropping*) seperti jagung dengan kacang-kacangan dapat meningkatkan hasil.
- iii. *Pengelolaan Limbah*; Semua limbah dari tanaman, ternak, dan perikanan harus dimanfaatkan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan eksternal.

Zona Pertanian terpadu pada Lahan Konversi yang dilaksanakan:

- i. *Zona tanaman utama*; Menanam tanaman produktif sesuai dengan karakteristik lahan, seperti padi, jagung, atau hortikultura pada lahan datar, dan tanaman perkebunan seperti kelapa sawit atau kakao pada lahan miring. Pada lahan marginal, gunakan tanaman yang tahan kekeringan seperti sorgum atau tanaman legume.
- ii. *Zona Agroforestri*; Kombinasi tanaman pangan dan pohon peneduh atau pohon hutan yang bermanfaat (misalnya, sengon, mahoni, atau gamal). Pohon membantu menstabilkan tanah, mengurangi erosi, dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Contoh *system agroforestry* di Garut, Petani di lahan bekas hutan menanam pohon kopi di bawah tegakan pohon peneduh seperti sengon atau gamal. Di sela-sela tanaman kopi, ditanam cabai dan sayuran. Peternakan kambing ditempatkan untuk menghasilkan pupuk organik
- iii. *Zona peternakan*; Peternakan sapi, kambing, atau ayam ditempatkan di area terpisah namun dekat dengan zona tanaman untuk memanfaatkan kotoran sebagai pupuk organik. Sisa tanaman dijadikan pakan ternak. Contoh proyek percontohan di NTT, Sistem tumpangsari jagung dan kacang-kacangan diterapkan, sementara ternak kambing dipelihara di area tertentu. Embung dibuat untuk menampung air hujan yang digunakan untuk irigasi
- iv. *Zona perikanan*; Kolam ikan dibuat di lahan rendah atau area dengan cekungan alami, memanfaatkan aliran air. Ikan seperti lele atau nila bisa dibudidayakan untuk menghasilkan tambahan pendapatan.
- v. *Zona pengolahan limbah*; Limbah organik dari pertanian, ternak, dan perikanan diolah menjadi kompos atau biogas. Kompos digunakan untuk meningkatkan kesuburan lahan konversi yang cenderung kurang subur.



Gambar 20. Interaksi Tanaman dan ternak serta pengolahan limbah dalam model SPT pada lahan konversi.

5. Lahan Miring

Penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan potensi alami dan tidak diimbangi dengan tindakan konservasi yang tepat dapat mempercepat proses erosi. Ketika tanah sudah mengalami erosi, maka hasil produksi lahan akan menurun. Beberapa faktor yang menjadi penghambat adalah: kemiringan lahan, kepekaan tanah terhadap erosi, tingkat keparahan erosi, kedalaman tanah, tekstur, daya serap air, sistem drainase, proporsi batu dan kerikil, serta risiko banjir.

Salah satu faktor yang membatasi penggunaan lahan adalah kemiringan. Lahan yang miring, khususnya yang kering, memiliki kemampuan terbatas karena kemiringan menyebabkan tanah lebih mudah tererosi oleh hujan. Jika tidak ada langkah-langkah untuk memanfaatkan lahan sesuai potensinya, kualitas lahan akan menurun dan produktivitas pun akan berkurang.

Usaha konservasi pada lahan miring meliputi pola tanam yang mengikuti kontur lahan. Misalnya, metode *strip cropping* atau *alley*

cropping dapat diterapkan dengan tanaman pinggir yang berfungsi menahan erosi, seperti Lamtoro dan sengon. Tanaman di antara lorong bisa berupa tanaman perkebunan seperti kopi atau tanaman hortikultura seperti cabai, jahe, dan kentang, dengan penanaman mengikuti kontur.

Proses pengelolaan lahan juga harus fokus pada konservasi, termasuk pada tahap pembajakan yang perlu disesuaikan dengan kontur. Pada lahan miring, sistem terasering juga perlu diterapkan meskipun pada lahan kering. Sistem ini akan mengurangi laju air yang mengalir dari area tinggi ke bawah, sehingga dapat mencegah banjir dan erosi. Penanaman tanaman berakar kuat di batas teras sangat penting untuk menjaga kestabilan teras. Tanaman tersebut sebaiknya memiliki manfaat tambahan, seperti rumput gajah dan lamtoro, yang bisa digunakan sebagai pakan ternak dan menghasilkan pupuk organik. Pengendalian polusi, baik mekanis, biologis, maupun kimia harus difokuskan pada sistem pertanian terpadu, dengan penggunaan pestisida organik yang ramah lingkungan.

Dr. Jun Mercado menerapkan metode Teras Vegetatif Alami (TVA) pada lahan miring di Sulawesi Selatan dan Gorontalo. Teknik ini membantu memperkuat lereng terjal di lahan pertanian dengan menanam rumput dan tumbuhan alami di garis kontur, sementara pematang dapat dipenuhi dengan tanaman bernilai tinggi. Berbagai jenis tanaman buah, kayu, dan pangan dapat ditanam di lahan dan teras, seperti kombinasi jati putih dan jagung, atau pohon kayu, pisang, dan rumput pakan ternak.

Implementasi TVA dapat mengurangi erosi hingga 90%. Penurunan erosi ini berdampak positif terhadap kualitas air di kawasan hilir akibat pengurangan sedimentasi. Metode TVA juga memiliki biaya rendah dan mudah diterapkan, sehingga tidak memberikan beban kepada petani. Selain itu, dengan mengembangkan berbagai jenis tanaman, produktivitas dan keragaman hayati juga akan meningkat.

6. Lahan Rawan Erosi

Transformasi hutan menjadi lahan pertanian semakin tidak terhindarkan setelah adanya kerja sama antara Perhutani dan Lembaga Masyarakat Desa Hutan (LMDH) untuk melakukan Pengelolaan Hutan Bersama Masyarakat (PHBM) di lahan hutan produksi. Tanpa

disadari, aktivitas ini telah mengubah vegetasi hutan menjadi tanaman semusim. Jika peraturan tidak ditegakkan dengan ketat, maka berpotensi besar terjadi kerusakan lingkungan akibat perubahan tutupan lahan, terutama di daerah dataran tinggi. Hal ini terjadi karena tanaman semusim memiliki kemampuan yang rendah untuk mengikat air dan partikel tanah, serta kurangnya tindakan konservasi dalam usaha tani yang telah memperburuk erosi tanah.

Penggunaan lahan miring sebanyak digunakan untuk menanam ubi kayu di wilayah Dongko diduga berkontribusi pada tingginya erosi serta penurunan kandungan hara tanah. Karakteristik wilayah bergunung, tanah yang kurang subur, dan terbatasnya pasokan air membuat masyarakat cenderung memilih tanaman tahunan dan ubi kayu untuk ditanam. Di area tersebut, erosi sering terjadi pada lahan berlereng yang digunakan untuk menanam tanaman semusim tanpa diimbangi dengan langkah-langkah konservasi tanah. Pembuatan teras tanpa adanya konservasi vegetasi dengan tanaman tahunan ternyata tidak mampu mencegah erosi tanah yang dipicu oleh tingginya curah hujan di daerah pegunungan.

Walaupun terjadi erosi pada lahan pertanian, penggunaan pupuk kandang dalam jumlah besar ternyata efektif dalam menggantikan kehilangan karbon organik tanah yang terdestruksi selama proses erosi. Di lokasi Petani Lembang, rata-rata mereka menambahkan 30 karung pupuk kandang yang seberat 30 kg untuk lahan sayuran seluas 1.000 m². Langkah ini diambil untuk memastikan bahwa media tanah tersedia dalam keadaan gembur agar akar sayuran dapat tumbuh dengan baik. Ketersediaan bahan organik sangat penting bagi petani untuk meningkatkan kesuburan tanah sekaligus mencegah erosi. Ketika lahan miring, lapisan permukaan tanah sangat mudah erosi, dan hal ini semakin diperparah oleh curah hujan yang tinggi dan teknik budidaya yang kurang efektif.

Tanaman penutup tanah dan penggunaan mulsa terbukti sangat berperan dalam mengurangi erosi serta memperlambat aliran permukaan tanah, sehingga mengurangi jumlah tanah yang terbawa hujan. Persentase penutupan tanah memiliki dampak terhadap tingkat erosi dan keberadaan hara tanah. Pemilihan tanaman penutup tanah bergantung pada seberapa baik mereka menutupi tanah, hasil hijauan

yang dihasilkan, kemampuan mengendalikan gulma, dan fungsi mereka sebagai tanaman konservasi tanah. Selain kemiringan lahan, jenis tanah dan jenis mulsa juga berpengaruh dalam menentukan variasi tingkat erosi tanah, sementara efektivitas penutupan tanah merupakan elemen penting. Beberapa tanaman penutup tanah yang dikenal meliputi *Dolichus lablab*, *Crotalaris* sp., *Canavalia* sp., *Vigna* sp., *Tephrosia* sp., *Dioscroea* sp., *Ipomea batatas*, *Mucuna* sp., dan *Arachis Pinto*. Di perkebunan, tanaman *A. pinto* digunakan sebagai rerumputan atau tanaman penutup yang berfungsi mengelola erosi, memperbaiki tanah, dan menanggulangi pertumbuhan gulma..



Gambar 21. Tanaman *Mucuna* sebagai penutup tanah untuk mengurangi laju erosi tanah

7. *Lahan Kering*

Inovasi di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi dalam pengelolaan agroekosistem lahan kering diharapkan dapat meningkatkan hasil pertanian lahan kering secara berkelanjutan. Untuk mencapai hal ini, perlu diperhatikan berbagai aspek, termasuk bahwa ilmu pengetahuan dan teknologi yang diterapkan dalam sistem pertanian lahan kering harus dapat mengurangi ketergantungan petani pada input eksternal, menjamin pendapatan yang cukup, memastikan kelangsungan usaha tani, meningkatkan kesejahteraan, dan mendukung kemandirian petani lahan kering. Strategi yang dapat diimplementasikan mencakup penggunaan sistem pertanian terpadu yang berfokus pada potensi

lokal, mengintegrasikan komponen tanaman dan ternak dalam satu sistem yang harmonis. Sebagaimana dikemukakan oleh Rodriguez dan Preston pada tahun 1997 dalam Preston, penerapan sistem pertanian terpadu diharapkan dapat menciptakan agroekosistem dengan tingkat keberagaman yang tinggi, sehingga meningkatkan kemungkinan keberhasilan usaha tani. Keanekaragaman fungsional dapat diraih dengan mengkombinasikan spesies tanaman dan hewan yang saling melengkapi dan terlibat dalam interaksi yang sinergis dan positif, yang tidak hanya meningkatkan stabilitas tetapi juga produktivitas sistem pertanian dengan memanfaatkan input yang lebih sedikit. Sistem pertanian terintegrasi dengan beberapa komoditas menjanjikan keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan sistem pertanian tunggal atau mono-cropping. Namun, kombinasi komoditas yang dikelola harus disesuaikan dengan kapasitas, sumber daya, dan kebutuhan petani yang terlibat. Salah satu contoh model sistem pertanian terpadu yang dikembangkan di lahan kering di desa Netpala, Kabupaten Timur Tengah Selatan adalah usaha tani konservasi yang menerapkan teknologi hedgerow. Model tersebut diciptakan karena adanya potensi ternak ruminansia yang dominan di daerah tersebut, serta kondisi topografi yang berbukit dengan tingkat erosi yang tinggi dan didominasi oleh lahan kering. Jenis usaha tani yang diterapkan adalah budidaya sayuran dataran tinggi, pilihan ini diambil karena potensi iklim mendukung untuk melakukan pertanian sepanjang tahun.

8. Penerapan SPT Tanaman Pangan dan Hortikultura

Implementasi konsep tanaman pangan dan hortikultura merupakan suatu bentuk diversifikasi tanaman yang dilakukan dengan tumpangsari. Pendekatan ini secara efektif menurunkan kemungkinan terjadinya gagal panen akibat perubahan cuaca yang tidak terduga. Keanekaragaman tanaman yang diterapkan memastikan bahwa saat kondisi cuaca tidak mendukung pertumbuhan salah satu jenis tanaman, hasil dari tanaman lainnya tetap dapat mencukupi kebutuhan.

Dalam skala ketahanan pangan global, strategi tumpangsari memainkan peran vital dalam membangun sistem pertanian yang mampu beradaptasi terhadap perubahan iklim serta memenuhi

tuntutan pangan dunia yang terus meningkat. Dengan meningkatkan produktivitas lahan, mendiversifikasi tanaman, dan meminimalkan risiko gagal panen, tumpangsari memberikan dasar yang kuat untuk pertanian yang berkelanjutan dan tahan banting, serta memastikan ketersediaan pangan yang konsisten dan berkualitas.



Gambar 22. Tumpang sari tanaman sebagai bentuk pertanian terpadu

Beberapa langkah praktis yang dapat diambil saat menerapkan tumpangsari meliputi: a) Perencanaan yang matang, di mana penting untuk memikirkan jenis tanaman yang akan ditanam secara bersamaan. Pastikan untuk memerhatikan aspek seperti kebutuhan tanah, tingkat pencahayaan, dan siklus pertumbuhan agar pemilihan tanaman yang akan digabungkan bisa berjalan dengan baik; b) Memilih Tanaman Komplementer yang harus memiliki interaksi positif, yaitu tanaman yang berbeda memberikan manfaat satu sama lain. Sebagai contoh, tanaman penutup tanah dapat mengurangi risiko erosi, sedangkan tanaman yang berfungsi sebagai pengusir hama alami dapat melindungi tanaman lainnya dari serangan. Memahami karakteristik serta manfaat dari setiap tanaman dapat mencegah terjadinya kompetisi dalam hal pertumbuhan dan pemenuhan nutrisi; c) Mengatur Jarak dan Pola Tanam, pastikan tanaman yang lebih besar tidak menghalangi cahaya dan nutrisi bagi tanaman yang lain. Menjaga jarak yang sesuai antara tanaman juga penting untuk

memastikan sirkulasi udara yang optimal dan mencegah kompetisi berlebihan. Selain itu, perawatan seperti penyiraman, pemupukan, dan pengendalian hama harus disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing tanaman.

Sebaiknya, lakukan eksperimen kecil di lahan pertanian yang masih tersisa, hal ini akan memberikan wawasan lebih dalam tentang dinamika tumpangsari sebelum diterapkan pada lahan yang lebih luas. Adaptasi terhadap perubahan dan pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman menjadi hal yang sangat penting. Praktik ini juga dapat melibatkan kolaborasi dengan petani lain di lingkungan Anda, mengingat setiap area pertanian memiliki ciri khasnya masing-masing.

9. Penerapan SPT Tanaman Perkebunan dan Agroforestri

Sistem agroforestri merupakan pendekatan pertanian berkelanjutan yang mengintergrasikan tanaman dari berbagai jenis serta menciptakan beberapa lapisan tajuk yang lebih ramah lingkungan. Namun, banyak praktik agroforestri yang menunjukkan produktivitas yang rendah, mengakibatkan kurangnya minat dari para petani untuk mengembangkannya. Agroforestri memiliki sejumlah karakteristik yang lebih unggul jika dibandingkan dengan sistem pertanian tradisional (monokultur) dari segi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Sistem ini dapat berhasil jika mampu meningkatkan pendapatan masyarakat sembari menjaga produktivitas lahan. Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan agroforestri meliputi: a) pemilihan jenis tanaman yang sesuai, b) perawatan tanaman, c) ketersediaan pasar, dan d) keberadaan kelembagaan petani yang solid. Dalam Peraturan Menteri Kehutanan nomor 37 tahun 2007 mengenai Hutan Kemasyarakatan, dinyatakan bahwa kebijakan agroforestri adalah teknologi yang tepat guna untuk 1) meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan 2) sebagai langkah dalam konservasi sumber daya alam.

Sistem agroforestri dicirikan oleh keragaman pada komponen yang menyusunnya, metode pengelolaan, dan hasil yang dihasilkan. Berdasarkan keragaman ini, pengelolaan sistem agroforestri harus mengikuti prinsip-prinsip yang dapat mendorong produktivitas, keberlanjutan, serta penyebaran sistem ini di beragam lokasi dan

kondisi. Beberapa prinsip yang perlu diperhatikan dalam perumusan pengelolaan ini adalah:

- a. Pengelolaan agroforestri ditujukan untuk mengoptimalkan keunggulan sistem ini dan meminimalkan kelemahannya, sehingga dapat mencapai kelestarian lingkungan serta kesejahteraan petani.
- b. Strategi pengelolaan agroforestri harus memiliki spesifikasi yang jelas dan akurat, mengingat tiap daerah memiliki karakteristik lahan yang berbeda.
- c. Kombinasi penanaman antara tanaman tahunan dan semusim yang berbeda strata tajuk perlu dilakukan untuk mencapai produktivitas tinggi serta mendukung kesejahteraan petani dan melestarikan ekosistem.
- d. Pengembangan agroforestri bisa dilakukan dalam skala besar melalui praktik yang dijalankan oleh pengusaha, guna mendukung pertumbuhan agroforestri.
- e. Membangun jaringan kerja sama di kalangan petani.
- f. Pengelolaan agroforestri dapat dikembangkan di kawasan hutan, baik melalui konsep kehutanan masyarakat maupun pengelolaan hutan berbasis masyarakat (PHBM).

Pada dasarnya, sektor kehutanan telah memberikan kontribusi signifikan dalam menciptakan ketahanan pangan yang berlandaskan sumber daya lokal. Hutan memiliki potensi sebagai penyedia pangan dengan mengembangkan pola agroforestri. Selama ini, kawasan hutan secara langsung berperan sebagai penyedia pangan (Forest for Food Production). Kontribusi sektor kehutanan terhadap ketersediaan pangan nasional dari komoditas seperti padi, jagung, kacang-kacangan, dan umbi-umbian mencapai lebih dari 3. 270. 000 ton setara pangan setiap tahun. Namun, masih ada potensi pangan dari hutan yang belum dimanfaatkan secara optimal, seperti tanaman Sagu (*Metroxylon* spp.) yang memiliki potensi besar. Praktik agroforestri yang memiliki keragaman serta produktivitas yang optimal mampu memberikan hasil yang seimbang selama pengelolaan lahan, sehingga dapat menjamin stabilitas dan kesinambungan pendapatan petani. Komunitas sekitar hutan yang menghadapi kemiskinan dan kerawanan pangan dapat merasakan manfaat langsung dari hasil

hutan, serta meraih manfaat tidak langsung sebagai sistem mata pencaharian (Agroforestri, Agrosilvopasture, dan Agrosilvo-fishery) untuk memperbaiki taraf hidup dengan memanfaatkan Sumber Daya Hutan secara berkelanjutan dan lestari.

10. *Budidaya Ternak dan Perikanan secara Terpadu*

Secara historis, pertanian campuran telah menjadi metode pertanian yang dominan bagi para petani kecil di Asia. Dalam sistem ini, input dan output dari tanaman serta hewan saling berhubungan erat dan bergantung pada sumber daya yang ada. Keluarga petani yang kurang mampu berusaha menyatukan usaha tanaman dan hewan guna memaksimalkan hasil dari lahan dan modal yang mereka miliki. Selain itu, tujuan lain adalah mengurangi risiko dalam produksi, mendiversifikasi pendapatan, meningkatkan ketahanan pangan, serta mendorong produktivitas lahan dan keberlanjutan. Ternak memberikan tenaga dan pupuk kepada tanaman dalam bentuk kotoran hewan, yang juga dimanfaatkan sebagai bahan bakar rumah tangga. Di samping itu, sisa-sisa tanaman digunakan sebagai pakan bagi hewan. Produk seperti susu, daging, dan telur memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan gizi dan kesehatan keluarga. Penjualan hewan dan produk-produknya berperan dalam meningkatkan dan menstabilkan pendapatan rumah tangga untuk biaya input pertanian dan memenuhi kebutuhan pengeluaran untuk pendidikan serta kesehatan. Untuk petani yang kurang mampu, kambing, babi, dan unggas dianggap sebagai bentuk jaminan serta sumber pendapatan mandiri.

Penerapan integrasi bertujuan untuk mendaur ulang sumber daya seefisien mungkin. Integrasi berlangsung ketika produk atau limbah dari satu komponen digunakan sebagai sumber daya oleh yang lain; misalnya, kotoran hewan diaplikasikan pada tanaman, sementara jerami diberikan kepada hewan. Dalam konteks ini, integrasi berfungsi untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya. Sayangnya, sistem ini juga dapat menjadi lebih rentan terhadap gangguan, karena pencampuran aliran sumber daya membuat rangkaian sistemnya lebih kompleks dan saling tergantung.

Sistem yang dikenal sebagai integrasi peternakan, atau sering disebut sebagai *Crop-Livestock Integration* (CLI), merupakan strategi untuk

mencapai keseimbangan atau sinergi antara produksi pertanian dan kualitas lingkungan. Sistem CLI mengintegrasikan kegiatan dari berbagai subsektor pertanian (seperti peternakan, perkebunan, dan perikanan-tanaman, ternak, ikan) untuk meningkatkan efisiensi serta produktivitas sumber daya (lahan, tenaga kerja, dan faktor-faktor pertumbuhan lainnya), kemandirian, dan kesejahteraan petani secara berkelanjutan.

Contoh sistem pertanian terintegrasi mencakup penghubungan antara ternak dengan kolam ikan dan ikan dengan padi (Mukherjee, 1992), penggabungan tebu dengan ternak (Preston dan Murgueitio, 1992), serta pohon multiguna yang ditanam bersama tanaman lainnya (Speedy dan Puglièse, 1992), menjadi hal penting di negara-negara berkembang yang mengutamakan efisiensi dan perlindungan lingkungan. Berbagai model integrasi tanaman-serta ternak telah diimplementasikan di Indonesia dan di beberapa negara di Asia Tenggara, yaitu:

- a. Agropastoral adalah sebuah metode pengelolaan lahan dan sumber daya yang mengintegrasikan pertanian (agro) dengan peternakan (pastoral), contohnya adalah kombinasi antara ternak dengan jagung. Melalui pendekatan agropastoral, efisiensi penggunaan sumber daya dan produktivitas lahan dapat ditingkatkan, sekaligus mengurangi risiko kerugian yang mungkin muncul akibat ketergantungan pada satu sektor saja.

Para peternak memiliki pakan sendiri, baik melalui penanaman hijauan pakan maupun dengan cara *cut and carry* dari lahan penggembalaan alami. Limbah jagung bisa dimanfaatkan secara musiman untuk pakan sapi. Limbah ini dapat dijadikan sebagai standing hay di area pertanian dan peternakan dan dibiarkan merumput sampai sebelum masa tanam selanjutnya, atau hijauan jagung bisa difermentasi menjadi silase. Kotoran dari ternak dapat digunakan sebagai input pada lahan pertanian.

Beberapa langkah yang bisa diambil dalam implementasi agropastoral antara lain: 1) *Identifikasi Potensi Lokal*, yaitu dengan mengevaluasi jenis tanaman dan hewan yang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat (iklim, tanah, dan sumber daya yang ada); 2) *Pelatihan dan Edukasi*, yakni memberikan

pelatihan kepada masyarakat mengenai praktik agropastoral yang berkelanjutan, seperti pembuatan kompos, manajemen limbah, dan metodologi pertanian organik; 3) *Pembangunan Infrastruktur*, yang membutuhkan penyediaan fasilitas seperti kandang hewan, penyimpanan pakan, dan akses terhadap air bersih untuk mendukung sistem agropastoral; 4) *Dana dan Dukungan Pemerintah*, yang mencakup kebutuhan bagi modal atau akses ke kredit mikro untuk petani dan peternak. Pemerintah dapat menyediakan insentif melalui subsidi untuk pupuk organik atau program pelatihan.

- b. Agrofiseries adalah sistem pengelolaan sumber daya alam yang menggabungkan pertanian (agro) dan perikanan (fisheries). Tujuan dari sistem ini adalah untuk meningkatkan efisiensi produksi dan keberlanjutan lingkungan dengan memanfaatkan interaksi simbiosis antara tanaman dan sektor perikanan. Dalam konsep agrofiseries, limbah dari sektor pertanian digunakan untuk menunjang sektor perikanan dan sebaliknya.

Model agrofiseries sangat sesuai diterapkan di daerah pedesaan, khususnya di lokasi dengan akses air yang memadai seperti lahan basah, rawa, atau kawasan pesisir. Selain memberikan kontribusi terhadap diversifikasi pendapatan, agrofiseries juga membantu dalam meningkatkan ketahanan pangan dan menjaga lingkungan. Manfaat dari model ini antara lain: 1) Efisiensi Sumber Daya, di mana limbah pertanian (seperti dedaunan dan limbah organik) dapat dimanfaatkan sebagai pakan atau pupuk alami bagi ikan; 2) Keberlanjutan Lingkungan, dapat mengurangi penggunaan bahan kimia dan limbah dengan membentuk siklus biologis antara pertanian dan perikanan; 3) Diversifikasi Pendapatan, petani mendapat hasil dari dua sektor sekaligus yaitu hasil pertanian dan produksi ikan; 4) Ketahanan Pangan, kombinasi hasil dari tanaman dan ikan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kebutuhan gizi masyarakat; 5) Mitigasi Risiko, jika salah satu sektor mengalami kegagalan, sektor lainnya tetap bisa menjadi sumber pendapatan atau makanan.



Gambar 23. Sistem yang memadukan agropastoral dan agrofiseries

Berbagai model agrofiseries yang diterapkan di pedesaan mencakup:

1) *Sistem Kolam Tumpasari*, yang menggabungkan kolam ikan dengan tanaman yang tumbuh di sekitar atau di atas kolam, serta memanfaatkan limbah organik dari kolam (seperti kotoran ikan) sebagai pupuk untuk tanaman, sementara itu tanaman di sekeliling kolam berfungsi menjaga kualitas air; 2) *Sistem Sawah – Ikan*, yang mengintegrasikan budidaya ikan (seperti nila atau lele) ke dalam sawah yang ditanami padi, di mana ikan dapat mengonsumsi hama padi dan sisa pupuk alami dari ikan berkontribusi pada peningkatan kesuburan tanah; 3) *Sistem Polikultur dengan Tambak Udang*, yang memelihara udang dalam tambak dikelilingi oleh tanaman seperti mangrove, pohon kelapa, atau tanaman pangan lainnya, dengan limbah tambak berfungsi sebagai sumber nutrisi bagi tanaman, sedangkan tanaman tersebut membantu menstabilkan ekosistem tambak; 4) *Sistem Akuaponik*, yang menggunakan air dari kolam ikan sebagai nutrisi untuk tanaman hidroponik (tanpa tanah), model ini ideal untuk lahan terbatas atau bagi masyarakat di perkotaan; 5) *Sistem Rawa Lebak – Ternak Ikan*, yang memanfaatkan lahan rawa tergenang untuk budidaya ikan sambil menanam tanaman yang sesuai dengan kondisi lahan basah seperti sagu atau talas.

Tahapan implementasi di masyarakat mencakup 1) *Identifikasi Potensi Lokasi*, menganalisis jenis ikan dan tanaman yang cocok untuk kondisi setempat seperti jenis tanah, kualitas air, dan iklim; 2)

Edukasi dan Pelatihan Masyarakat, memberikan pelatihan kepada masyarakat mengenai teknik budidaya ikan, pengelolaan air, serta praktik pertanian yang ramah lingkungan; 3) *Pembangunan Infrastruktur*, menciptakan kolam ikan, tambak, atau lahan sawah yang dirancang agar memungkinkan integrasi antara perikanan dan pertanian; 4) *Penyediaan Modal dan Teknologi*, memberikan akses pembiayaan atau kredit mikro kepada petani dan nelayan kecil, serta memperkenalkan teknologi seperti sistem akuaponik, pompa air hemat energi, atau pupuk organik untuk mempercepat pelaksanaan; 5) *Kolaborasi dengan Pemerintah dan Swasta*, di mana pemerintah daerah dapat memberikan dukungan melalui subsidi atau program insentif, sementara pihak swasta dapat berkontribusi dalam distribusi hasil produksi atau memberikan pelatihan tambahan.

BAB 4.

PENGATURAN POLA TANAM

Sistem usaha tani harus direncanakan dan disusun sesuai dengan kebutuhan unsur hara dan selanjutnya akan membantu dalam mempertahankan produktivitas tanah. Akan tetapi sistem pertanaman campuran tidak selalu cocok untuk diterapkan pada semua kondisi. Model pola tanam yang bisa mendukung pertanian berkelanjutan antara lain:

4.1. **Budidaya Lorong (*Alley Cropping/Hedgrow Intercropping*)**

Budidaya lorong, yang juga dikenal sebagai sistem pertanaman lorong, adalah metode di mana tanaman pangan ditanam di kawasan antara barisan tanaman pagar. Tanaman yang biasa digunakan untuk pagar antara lain adalah lamtoro (*Leucaena leucocephala*), gliricidia (*Gliricidia sepium*), kaliandra (*Caliandra calothyrsus*), dan flemingia (*Flemingia congesta*). Dalam praktiknya, lorong-lorong yang diisi dengan tanaman pangan dikelilingi oleh batasan tanaman pagar atau tegakan, umumnya dari tanaman legum yang memiliki pertumbuhan cepat.

Beberapa ahli berpendapat bahwa budidaya lorong dapat diperluas sebagai sistem pertanian yang berkelanjutan dengan penggunaan sumber daya yang rendah. Terdapat beberapa aspek penting dari budidaya lorong yang memiliki fungsi beragam, antara lain:

- a. Mencegah kerusakan tanah akibat erosi permukaan (aspek konservasi).
- b. Melestarikan serta meningkatkan kesuburan tanah (aspek kesuburan).
- c. Tanaman pagar (legum) bisa dimanfaatkan sebagai pupuk hijau, pakan ternak, sayuran, penghalang angin, serta sumber kayu bakar (aspek multifungsi tanaman pagar).
- d. Meningkatkan produktivitas lahan.
- e. Menambahkan bahan organik dan unsur hara, terutama nitrogen, untuk tanaman yang ditanam di lorong.

- f. Mengurangi laju aliran permukaan dan erosi apabila tanaman pagar ditanam secara rapat menurut garis kontur.



Gambar 24. Budidaya Lorong dengan *Gliricidia sepium*

4.2. Pemilihan Tanaman Pagar

Beragam jenis pohon dan semak dapat digunakan sebagai tanaman pagar, terutama dari kelompok legum. Karakteristik utama tanaman legum meliputi pertumbuhan yang cepat, kemudahan dalam penanaman, serta kegunaan yang beragam (MPTS = *Multi Purpose Plant Species*). Oleh karena itu, dalam pemilihan tanaman pagar untuk budidaya lorong, sebaiknya memenuhi beberapa kriteria berikut:

- a. Benih atau bibit harus mudah diakses di area sekitarnya.
- b. Tanaman harus mudah untuk ditanam dan tumbuh cepat.
- c. Memiliki akar yang dalam sehingga dapat mengambil hara dari lapisan tanah yang lebih dalam tanpa mengganggu akar tanaman utama.
- d. Dapat menghasilkan biomassa yang melimpah melalui pemangkasan yang bisa dimanfaatkan sebagai pupuk hijau, mulsa, dan pakan ternak.
- e. Tahan terhadap pemangkasan dan memiliki kemampuan regenerasi serta pertumbuhan kembali yang cepat dan baik.
- f. Mampu menyediakan nitrogen secara alami melalui pengikatan N dari udara yang berasal dari aktivitas mikroorganisme yang bersimbiosis dengan legum.
- g. Dapat menghasilkan produk sampingan yang sangat berguna bagi para petani, seperti sumber kayu dan material bangunan.
- h. Mudah dimusnahkan ketika sudah tidak diperlukan lagi.

Beberapa jenis legum yang umum digunakan dalam budidaya lorong antara lain kaliandra merah (*Caliandra calothyrsus*), kaliandra putih (*Caliandra tetragona*), gamal (*Gliricidia sepium*), lamtoro gung (*Leucaena leucocephala*), flemingia (*Flemingia congesta*), turi (*Sesbania grandiflora*), *Cayanus cajan*, *Dalbergia sisso*, *Desmantus virgatus*, dan *Tephrosia vogelii*. Di antara semua jenis tersebut, lamtoro dan gliricidia merupakan yang paling sering dimanfaatkan.

Dalam pengembangan budidaya lorong, tanaman pagar tidak hanya terbatas pada legum tetapi juga meliputi jenis-jenis yang lebih menguntungkan dan disukai oleh petani, termasuk buah-buahan dan tanaman perkebunan. Jika dipadukan dengan kegiatan peternakan, beberapa jenis rumput pakan ternak dapat ditanam sebagai pagar.

Rumput umumnya memiliki sistem akar yang sangat kuat, yang berguna untuk konservasi. Beberapa jenis rumput yang sudah banyak dibudidayakan untuk pakan ternak adalah rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dan rumput guinea (*Panicum maximum*). Selain itu, terdapat jenis-jenis lain yang bisa digunakan sebagai rempah dan aroma, seperti rumput citronella (*Cymbopogon nardus*, Jowitt), sere wangi (*Cymbopogon citratus*, Stapf), rumput guatemala (*Tripsacum laxum*), dan rumput vetiver (*Vetiveria zizanoides*). Kelebihan dari jenis rumput adalah kemudahan dalam penanaman dan pertumbuhan. Namun, dalam kondisi kekurangan air, rumput bisa bersaing dengan tanaman lain dalam penyerapan unsur hara.

Tanaman pagar, baik yang bersifat permanen maupun sementara, yang ditanam mengikuti kontur tanah, memiliki keuntungan tambahan sebagai pengendali erosi. Jenis-jenis tanaman yang ditanam harus disesuaikan dengan kondisi agroekosistem lokal serta mempertimbangkan kebiasaan para petani setempat.

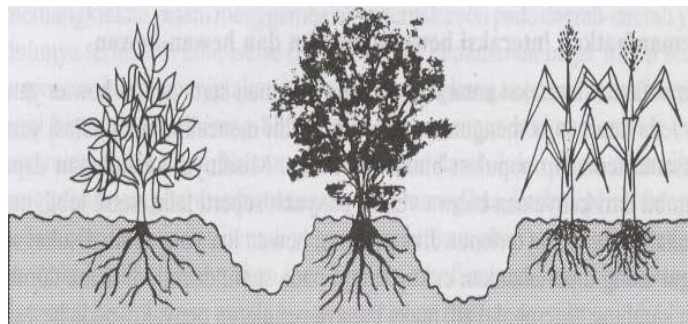
Tanaman pagar perlu dipangkas secara berkala, bisa berfungsi sebagai pakan ternak, atau sebagai mulsa untuk tanaman utama (pangan). Pemangkasan juga memiliki tujuan untuk mengendalikan pertumbuhan, karena jika tidak dilakukan, tanaman bisa menjadi gulma. Berikut adalah beberapa manfaat dari pemangkasan:

- a. Pemangkasan dilakukan setelah tanaman tumbuh cukup tinggi dan sudah menghasilkan biomassa yang dapat dimanfaatkan.
- b. Pemangkasan dapat dilakukan berkali-kali sesuai dengan perkembangan tanaman.

- c. Tanaman pagar perlu dipertahankan pada ketinggian tertentu agar tidak terlalu menutupi cahaya tanaman utama, sambil memperhatikan daya regenerasi tanaman, karena beberapa jenis tanaman jika terlalu pendek justru tidak dapat melakukan regenerasi dan dapat mati.
- d. Hasil dari pemangkasan berupa pupuk hijau dapat langsung ditanam kembali di lahan sebelum tanaman utama dipanen.
- e. Pemangkasan mungkin dilakukan dua hingga tiga kali selama musim hujan, tetapi sebaiknya dihindari selama musim kemarau kecuali pertumbuhannya sangat baik.

4.3. Tanaman Utama

Di area lorong, bisa ditanami dengan jenis tanaman semusim yang memiliki masa panen singkat serta sesuai dengan kebiasaan para petani di daerah tersebut, seperti jagung, kedelai, padi gogo, kacang tanah, dan berbagai sayuran. Rencana pola tanam yang disarankan harus mempertimbangkan kondisi iklim, dan jika memungkinkan, tanaman bisa ditanam secara berkelanjutan sepanjang tahun. Selain itu, tanaman keras yang memiliki nilai ekonomi tinggi seperti kopi, jeruk, cokelat, dan pisang juga dapat ditanam. Dengan cara ini, prinsip keanekaragaman dapat berkembang dalam praktik budidaya di lorong. Teknologi konservasi yang diterapkan meliputi pemulsaan, tanaman penutup, pupuk hijau, OTM, dan TOT.



Gambar 25. Parit di antara Tanaman Pagar dan Tanaman Budi Daya untuk Menghindari Gangguan pada Akar

4.4. Pertanian Sejajar Kontur (*Contour Farming*)

Sistem pertanian yang sejalan dengan budidaya lorong pada dasarnya adalah pertanian sesuai kontur, namun dalam pelaksanaannya lebih sering diterapkan di lahan miring dengan tujuan utama untuk mencegah erosi. Penerapan sistem ini mencakup pembuatan saluran kontur, saluran untuk mengendalikan aliran air, perangkap sedimen, cekdam, serta berbagai struktur konservasi lainnya.

Sistem ini termasuk dalam salah satu metode SALT (*Sloping Agriculture Land Technology*), yang bertujuan mengubah lahan miring yang tidak produktif menjadi produktif. Dengan menggunakan teknik ini, para petani diberikan peluang untuk meningkatkan kesuburan tanah, melakukan konservasi tanah dan air, mengurangi pertumbuhan hama serta penyakit, serta mengurangi ketergantungan pada input luar dalam usaha tani. Teknologi SALT diharapkan dapat membantu petani meningkatkan penghasilan melalui tanaman semusim dan tanaman keras.

Berikut adalah beberapa langkah yang perlu diambil untuk melaksanakan teknologi SALT:

1. Pertama, garis kontur perlu disiapkan dan di sepanjang garis tersebut, tanaman permanen yang dikenal sebagai tanaman pagar ditanam. Untuk tanah yang kemiringannya lebih dari 15%, jarak penanaman pagar adalah 4-6 m, sedangkan untuk yang lebih landai, kurang dari 15%, jaraknya antara 7-10 m.
2. Dua baris tanaman legum semak dan pohon ditanam sepanjang garis kontur dengan jarak antara setiap baris kontur adalah 50 cm.
3. Setiap 3 atau 4 baris, tanaman permanen yang bernilai ekonomis tinggi, seperti kopi, kakao, dan jeruk, juga ditanam.
4. Tanaman yang disukai petani dapat ditanam di ruang antara tanaman pagar sebelum tajuknya saling menutup.
5. Dipilihlah tanaman berumur pendek atau sedang, seperti jagung, sorgum, padi gogo, nanas, dan ketela rambat.
6. Tanaman pagar perlu dipotong hingga ketinggian 1 m dan biomassa yang dihasilkan harus dikembalikan untuk dijadikan sumber bahan organik.
7. Penting untuk melakukan rotasi tanaman pada jenis non-permanen guna menjaga kesuburan tanah tetap terjaga.

8. Di bagian bawah tanaman pagar, perlu ditambahkan penyangga seperti tongkat atau batu yang disusun berjejer untuk mengikat atau menjebak sedimen yang mengalir dari atas.
9. Teknik ini dapat dimodifikasi dengan memanfaatkan tanaman yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan dan disesuaikan dengan kondisi setempat. Tanaman pagar yang berupa rumput dapat dipangkas secara berkala dan digunakan sebagai pakan ternak.

Adapun langkah-langkah pembuatannya sebagai berikut:

Pembuatan Kerangka A

(1) Bahan dan alat yang diperlukan:

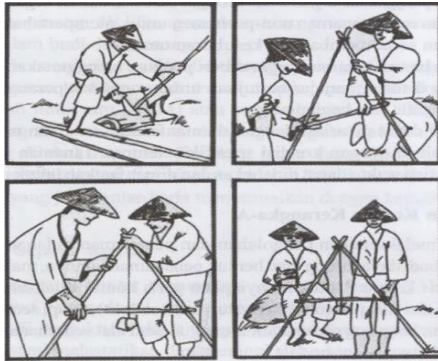
- Ψ Tongkat kayu atau bambu sepanjang 2,1 m sebanyak 2 buah dan sebuah berukuran 1,2 m.
- Ψ Paku dan tali untuk mengikat tongkat
- Ψ Batu sebesar kepalan tangan atau pemberat lainnya.



Gambar 26. Alat dan Bahan Kerangka A pada Pertanian Sejajar Kontur

(2) Tatacara pembuatan kerangka A:

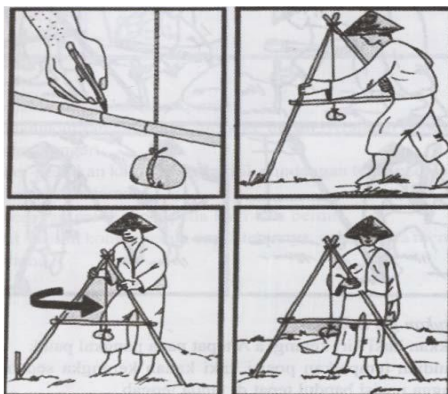
- Ψ Ikat tongkat kayu berukuran 2,1 m bagian ujungnya dengan tali.
- Ψ Bagian tengah antara 1 m dari ujung diikat lagi dengan kayu ukuran 1,2 m sebagai palang bingkai sehingga menyerupai huruf A.
- Ψ Ikat batu sebagai pemberat dengan tali hingga menjadi bandul.
- Ψ Gantungkan batu yang telah diikat tali pada puncak kerangka. Panjang tali bandul harus melewati palang kerangka.



Gambar 27. Cara Pembuatan Kerangka A dalam Pertanian Sejajar Kontur

(3) Menentukan titik berat/keseimbangan:

- Ψ Peneraan titik berat dengan cara menempatkan kerangka A di tempat yang berbeda tinggi.
- Ψ Beri tanda dengan patok masing-masing kaki kerangka A.
- Ψ Beri tanda pada tempat persinggungan antara tali dan pemberat pada talang kerangka.
- Ψ Tukar posisi kaki kerangka A antara kiri dan kanan dengan memutar kerangka 180°.
- Ψ Beri tanda pada persinggungan antara tali bandul dan palang kerangka sebagai tanda kedua.
- Ψ Tentukan titik tengah antara kedua tanda persinggungan yang telah dibuat.



Gambar 28. Cara Menentukan Titik Berat/Keseimbangan

Teknik Pembuatan Kontur dengan Kerangka A

(1) Menentukan Letak Kontur:

- Ψ Bawalah kerangka A dan siapkan secukupnya patok ke lahan dibuat konturnya.
- Ψ Tancapkan patok pada tempat yang sudah ditentukan sebagai pembuatan garis kontur. Pekerjaan dimulai dari tempat tertinggi. Pengukuran dilaksanakan dari batas pemilikan tanah ke arah samping.



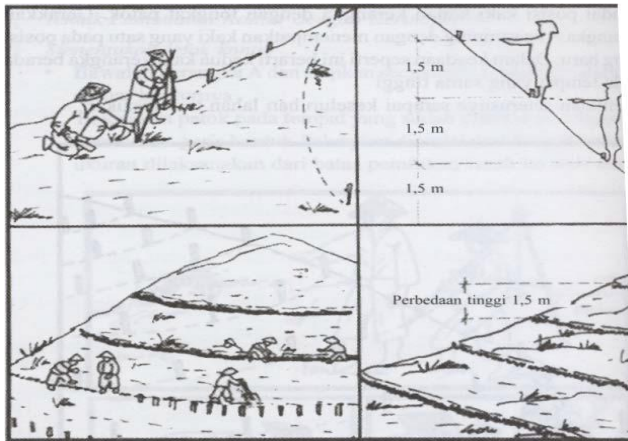
Gambar 29. Teknik Pembuatan Kontur dengan Kerangka A

(2) Menentukan Garis Kontur:

- Ψ Letakkan kaki kiri kerangka A tepat pada pangkal patok.
- Ψ Kemudian tempatkan posisi kaki kanan kerangka sedemikian sehingga posisi bandul tepat di tanda tengah.
- Ψ Tandai posisi kaki kanan kerangka dengan tongkat patok. Gerakkan kerangka A ke samping dengan menempatkan kaki yang satu pada posisi yang baru, sehingga kedua kaki kerangka berada pada tempat yang sama tinggi.

(3) Menentukan Jarak Barisan Kontur:

- Ψ Rentangkan tangan tegak lurus ke depan. Arahkan pandangan sejajar lengan Tangan
- Ψ Geserkan kaki sehingga titik pandangan tepat pada pangkal patok.
- Ψ Tancapkan patok tepat pada kaki kita berdiri.
- Ψ Buat barisan kontur kedua, seperti cara membuat barisan pertama.



Gambar 30. Cara Menentukan Jarak Barisan Kontur

4.5. Penentuan Posisi Tanaman

Perhitungan menentukan posisi tanaman pagar pada budidaya lorong, telah dikemukakan Arsyad (1988) menentukan posisi garis kontur dan sekaligus menentukan posisi pagar dan lebar bidang olah antar tanaman pagar.

$$W = 33-(S-10)$$

Keterangan: W = lebar antar-garis kontur, S = kemiringan tanah (%)

Rumus lain yang dapat digunakan untuk menentukan posisi tanaman pagar dikemukakan oleh Sukmana *et al.*, (1990).

$$\begin{aligned} \text{VI} &= 0,125 + 0,3 \\ \text{HI} &= \text{VI}/\text{S} \times 100 \end{aligned}$$

Keterangan: V: interval vertikal
H: interval horisontal
S: kemiringan lereng dalam

4.6. Wanatani/Hutan Tani/Agroforestry

Wanatani dapat dipahami sebagai suatu sistem pengelolaan lahan yang mengutamakan kombinasi antara tanaman pangan yang memiliki siklus pendek dengan tanaman pohon, semak, atau rumput sebagai pakan ternak. Beberapa contoh penerapan teknologi yang telah diterima luas di masyarakat termasuk pertanian sejajar kontur, sistem budidaya lorong, tumpangsari (Taungnya), pengelolaan lahan miring, teknik konservasi air, serta integrasi peternakan dan pertanian dengan memanfaatkan tanaman serbaguna.

Salah satu elemen dalam wanatani adalah hutan kemasyarakatan, yang melibatkan masyarakat atau petani lokal dalam proses penanaman dan pemeliharaan tanaman utama. Selama fase pertumbuhan tanaman masih muda dan kanopi tanaman belum menutupi satu sama lain, para petani bisa menanam tanaman semusim di antara tanaman pokok yang ada. Sistem yang telah ada adalah tumpangsari tanaman jati yang diterapkan di lahan milik Perhutani.

Model ini berpotensi untuk diterapkan di lahan milik perusahaan perkebunan dan Hutan Tanaman Industri (HTI) yang banyak terdapat di luar pulau Jawa. Pengembangan wanatani beserta model hutan kemasyarakatan sangat penting untuk memperkuat kondisi lingkungan, mencakup juga kebutuhan lokal seperti pangan, pelestarian hutan, dan pemenuhan kebutuhan kayu.

Beberapa kriteria dalam memilih jenis pohon berumur panjang yang cocok untuk pengembangan hutan desa skala kecil antara lain: (1) potensi sumber kayu untuk konstruksi dan peralatan rumah tangga, (2) kemampuan beradaptasi dengan keadaan lingkungan setempat, (3) pertumbuhannya yang berkelanjutan, (4) memberikan kontribusi pendapatan tambahan bagi

petani, (5) ketahanan awal pertumbuhannya terhadap naungan, dan (6) sesuai dengan preferensi dan pengalaman petani.

Contoh beberapa jenis tanaman pohon dapat dilihat pada Tabel 1, 2, dan 3 di bawah ini. Kriteria untuk memilih jenis tanaman pohon yang memiliki pertumbuhan cepat adalah: (1) laju pertumbuhan yang tinggi, (2) kemampuan menyediakan kayu bakar, bahan bangunan, pakan ternak, atau sumber pangan lainnya, (3) dampak positif terhadap peningkatan pendapatan petani, (4) kemampuan memperbaiki kondisi tanah, (5) toleransi terhadap kondisi lokal, dan (6) ketahanan terhadap ancaman kekeringan.

Tabel 1. Jenis Tanaman Pohon yang Tumbuh Cepat dan Bersifat Multiguna

Nama Indonesia	Nama Ilmiah	Pemanfaatan
Air Suli	<i>Acacia auriculliformis</i>	Air suli
Mangium	<i>Acacia mangium</i>	KB,BB
Saga	<i>Adenantha microosperma</i>	KB,PT,BB,PH
Sengon lout	<i>Albizia falcataria</i>	KB,BB,PH
Kaliandra Merah	<i>Calliandra calothyrsus</i>	KB,PT,BB,PH
Kaliandra Putih	<i>Calliandra tetragonal</i>	KB,PT,BB,PH
Johar	<i>Cassia siamea</i>	KB,BB,PH,SK
Flamboyant	<i>Delonix regia</i>	KB,BB,PH
Gamal	<i>Gliricidia sepium</i>	KB,PT,BB,PH
Waru	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	KB,PT,BB,PH
Kelor	<i>Moringa oleifera</i>	KB,PT,BB
Lamtoro	<i>Leucaena diversifolia</i>	KB,PT,BB,PH
Trembesi	<i>Samanea samara</i>	KB,PT,BS,PH,SK
Turi	<i>Sesbania grandiflora</i>	KB,PT,BB,PH
Jayanti	<i>Sesbania sesban</i>	KB,PT,BB

KB= kayu bakar, PT = pakan ternak, BB = bahan bangunan, PH = pupuk hijau, SK = sumber kayu

Tabel 2. Jenis Tanaman Pohon Berumur Sedang

Nama Indonesia	Nama Ilmiah	Pemanfaatan
Jambu Mente	<i>Ascardium occidentale</i>	SP,KB
Sirsak	<i>Annona muricata</i>	SP,KB
Pinang	<i>Areca catechu</i>	SP,BB
Sukun	<i>Artocarpus communis</i>	SP,KB,BB
Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	SP,KB,BB,SK
Belimbing	<i>Averrhoa bilimbi</i>	SP
Kemiri	<i>Aleurites molluscana</i>	SP,KB,BB

Nama Indonesia	Nama Ilmiah	Pemanfaatan
Bambu	<i>Sambusa sp</i>	SP,BB,SK
Kayu Manis	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	5P
Kelapa	<i>Cocos nucifera</i>	SP,BB,SK
Kopi	<i>Coffea sp</i>	SP,
Durian	<i>Durio zibethinus</i>	SP,
Melinjo	<i>Gneturn gnemon</i>	SP,KB,PT
Mangga	<i>Mangifera indica</i>	SP
Sawo	<i>Manilkara zapota</i>	SP
Kelor	<i>Moringara oleifera</i>	SP,PT,PH
Markisa	<i>Passiflora edulis</i>	SP
Alpokar	<i>Persea Americana</i>	SP
Merica/Lada	<i>Piper ningrum</i>	SP
Sirih	<i>Piper betel</i>	SP
Jambu Biji	<i>Psidium guajava</i>	SP,KB,SK
Asam Jawa	<i>Tamarindus indica</i>	SP,KB,PH,SK
Kakao	<i>Theobroma cacao</i>	SP

KB= kayu bakar, PT = pakan ternak, BB = bahan bangunan, PH = pupuk hijau, SK = sumber kayu

Tabel 3. Jenis Tanaman Pohon yang Berumur Panjang

Nama Indonesia	Nama Ilmiah	Pemanfaatan
Jambu Mente	<i>Anacardium occidentale</i>	SP,KB
Nimba	<i>Azaderachta indica</i>	KB,BB,PH,SK
Cemara	<i>Casuarinas equisetifolia</i>	KB,BB,SK
Kayu Manis	<i>Cinamomum zeylanicum</i>	SP,KB,BB,PH,SK
Johar	<i>Cassia siamea</i>	KB,BB,SK
Sano Keling	<i>Da/bergia sisoo</i>	KB,PT,BB,SK
Gmelin	<i>6melia arborea</i>	KB,PT,\$B,SK
Mindi	<i>Me1ia azaderach</i>	KB,BB,SK
Sono Kembang	<i>Pterocapusindico</i>	88,SK
Cendana	<i>Santa/um album</i>	BB,SK
Mahoni	<i>Switenia marcophylla</i>	BB,SK
Jati	<i>Tectonic grandis</i>	BB,SK,KB

SP = sumber pangan KB= kayu bakar, PT = pakan ternak, BB = bahan bangunan, PH = pupuk hijau, SK = sumber kayu

Kriteria untuk memilih pohon dengan umur sedang adalah: (1) mudah menyesuaikan diri dengan lingkungan, (2) memiliki banyak kegunaan, seperti untuk kayu bakar, material bangunan, pakan hewan, atau makanan lainnya, (3) dapat meningkatkan penghasilan petani, (4) pertumbuhan dan hasil yang berkelanjutan, (5) tahan terhadap naungan, dan (6) sesuai dengan preferensi petani.

Kriteria untuk memilih pohon berumur panjang meliputi: (1) sebagai penghasil kayu, (2) dapat menyesuaikan diri dengan kondisi lokal, (3) mampu meningkatkan penghasilan petani, (4) pertumbuhan dan hasil yang berkelanjutan, (5) toleransi terhadap naungan pada awal pertumbuhan, dan (6) sesuai dengan selera petani.

4.7. Sistem Pertanaman Campuran dan Rotasi (Pergiliran) Tanaman

Pertanaman campuran adalah metode bercocok tanam yang melibatkan lebih dari satu jenis tanaman di lahan yang sama dalam satu musim tanam. Komposisi dari pertanaman campuran ini sangat bervariasi, tergantung pada pilihan petani. Sistem ini adalah cara tradisional yang biasa dijalankan oleh petani kecil. Biasanya, ini dikenal dengan istilah tumpangsari atau tumpang gilir, yang dapat diterapkan di sawah atau lahan kering.

Awalnya, sistem ini hanya digunakan untuk tanaman semusim, tetapi seiring waktu, juga dipadukan dengan tanaman keras atau pohon. Beberapa manfaat dari metode pertanaman campuran ini meliputi:

- a. Untuk luas lahan yang sama, pertanaman campuran dapat memberikan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan pertanaman tunggal jika dilihat dari hasil panen per area. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan yang lebih baik dari salah satu atau kombinasi tanaman, pengendalian gulma yang efisien, penekanan hama dan penyakit, serta pemanfaatan air, sinar matahari, dan nutrisi yang lebih baik.
- b. Ketika berbagai jenis tanaman ditanam bersama, jika salah satu gagal, tanaman lain dapat menggantikan, sehingga mengurangi risiko kegagalan panen.
- c. Pertanaman campuran yang mencakup tanaman keras dan rumput dapat mengurangi erosi dengan memberikan penutupan yang lebih baik, memanfaatkan ruang tumbuh dengan efisien untuk akar dan kanopi, serta memungkinkan daur hara dan air yang baik. Hal ini dapat mendukung kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, seperti kekeringan, serangan hama, dan penyakit.

4.8. Sistem Pertanaman Surjan

Sistem pertanaman surjan adalah metode tradisional yang banyak digunakan di area yang memiliki masalah biofisik, seperti tanah yang sering mengalami banjir atau tergenang untuk waktu yang lama. Hal ini membuat para petani tidak dapat melakukan pertanian seperti seharusnya. Metode ini juga cocok untuk digunakan di daerah yang mengalami pasang surut, daerah banjir yang selalu, dan lahan gambut.

Dengan menerapkan sistem surjan, kondisi tanah dapat diperbaiki, sehingga hasil produksi pertaniannya bisa lebih baik. Metode ini mengikuti tiga prinsip utama dalam meningkatkan ketersediaan pangan:

1. Menambah area yang bisa ditanami untuk pertanian.
2. Meningkatkan hasil tanaman pada setiap unit area.
3. Menambah jumlah tanaman yang bisa dibudidayakan setiap tahunnya.

Pada lahan yang lebih tinggi, pengaturannya dapat disesuaikan sehingga tanaman lain selain padi dapat ditanam. Di alur yang lebih rendah yang selalu tergenang, lahan tersebut dapat digunakan sebagai sawah sepanjang tahun dan bahkan dikembangkan untuk kegiatan perikanan seperti mina padi.

a. Cara Membuat Surjan

1. Kondisi tanah dibuat sedemikian rupa dengan cara membuat larikan-larikan secara berselang-seling antara guludan dan alur.
2. Lebar guludan dan alur bervariasi sesuai dengan kondisi setempat (ketinggian genangan) dan selera petani.
3. Bagian guludan atau tanah yang ditinggikan ditanami jenis tanaman semusim yang tidak tahan genangan air seperti: sayuran, palawija dan buah-buahan, sedang bagian alur yang tergenang ditanami padi yang dikombinasi dengan mina padi.

b. Kelebihan Sistem Surjan

1. Melalui sistem surjan tani subsistem dapat memenuhi sendiri kebutuhan pangannya, dengan cara menanam berbagai tanaman di lahan yang terbatas yang sebelumnya hanya ditanami padi sawah saja.
2. Dengan memperhatikan jadwal tanaman dan pemiliha jenis tanaman yang baik, maka sistem ini secara kesinambungan

- menyediakan sayuran segar pada bagian guludan, beras dan ikan pada bagian alur.
3. Pada periode diluar musim tanam beberapa tanaman yang mempunyai nilai ekonomis dapat dipasarkan untuk menambah pendapatan petani.
 4. Sistem surjan memberikan kesempatan pada petani secara optimal untuk memanfaatkan lahan, sumber daya manusia, dan sumber daya lainnya serta pendapatan yang berkesinambungan.
 5. Menanam bermacam-macam tanaman pada waktu yang berbeda dapat menekan terjadinya ledakan hama dan penyakit.
 6. Bagian guludan yang lebih tinggi sekaligus sebagai pelindung tanaman padi dari terpaan angin yang besar yang dapat menyebabkan tanaman menjadi rebah.

c. Kelemahan Sistem Surjan

1. Memerlukan tenaga yang lebih banyak dari sistem tradisional.
2. Tenaga diperlukan sepanjang tahun, terutama pada awal konstruksi pembuatan surjan yang terdiri atas guludan dan alur memerlukan tenaga, waktu dan biaya yang banyak.
3. Diperlukan pengelolaan usaha tani yang baik karena menyangkut berbagai macam tanaman dan jadwal tanam yang terus menerus sepanjang tahun.

4.9. Intensifikasi Pekarangan

Pekarangan atau kebun yang sering kita temui merupakan cara bertani tradisional yang masih relevan dengan budaya serta ekosistem lokal. Intensifikasi pekarangan fokus pada penggunaan berbagai jenis sayuran dan tanaman lain dari jenis lokal. Seharusnya, pekarangan memanfaatkan 60 hingga 70 persen benih atau bibit dari varietas lokal. Pendekatan ini tidak hanya bertujuan untuk mengontrol serangan hama, tetapi juga melestarikan kearifan yang penting untuk generasi mendatang. Pelestarian ini tidak hanya berasal dari bank benih, tetapi juga dari praktik budidaya yang dilakukan oleh petani. Melalui tanaman mereka, petani berkontribusi pada pelestarian warisan tradisional..

Peningkatan pekarangan secara biologis berusaha mengurangi ketergantungan petani terhadap teknologi modern yang mahal. Pupuk dan pestisida sebaiknya berasal dari limbah atau biomassa yang ada di sekitar.

Begitu pula, benih dari varietas lokal lebih disarankan dibandingkan varietas hibrida yang harganya tinggi.

Keberhasilan dalam intensifikasi pekarangan dengan cara konvensional sangat ditentukan oleh ketersediaan bahan-bahan dari luar pertanian. Sementara itu, pendekatan intensifikasi alami berbeda jauh. Dalam cara ini, lahan ditingkatkan melalui pengolahan tanah, pengelolaan hara, penyuburan tanah, penggunaan berbagai jenis tanaman, serta menjaga keseimbangan ekosistem.

Dengan intensifikasi pekarangan secara alami, bahan organik diolah kembali ke tanah sebagai kompos, dan cara ini juga mengurangi penggunaan pestisida buatan. Varietas tanaman yang beragam dapat membantu mengatasi hama dan penyakit. Semua model formula organik bisa dibuat dengan memanfaatkan bahan-bahan yang ada di sekitar, termasuk tanaman obat dan pestisida alami.



Gambar 31. Pemanfaatan lahan pekarangan

Keberhasilan pekarangan dalam mempertahankan produktivitas dapat dinilai dari beberapa aspek:

- a. Menjaga dan meningkatkan hasil tanaman secara berkelanjutan.
- b. Meningkatkan energi dari sumber lokal seperti kayu bakar.
- c. Memproduksi berbagai bahan yang dapat digunakan sehari-hari atau dijual untuk meningkatkan pendapatan.
- d. Melindungi dan meningkatkan kualitas lingkungan, terutama air, tumbuhan, dan hewan.
- e. Meningkatkan kondisi sosial ekonomi para petani.

Langkah-langkah Intensifikasi Pekarangan

1. Memilih lokasi yang tepat, dengan memperhatikan:
 - Ω Kemudahan dan dekat dengan sumber air.
 - Ω Tanah mempunyai pengaturan dan kesuburan yang baik.
 - Ω Sinar matahari cukup dan sirkulasi udara baik.
2. Lahan cukup tersedia untuk mengembangkan pekarangan.
3. Menyiapkan petak pertanaman dengan; mencangkul tanah sedalam 15 – 30 cm, untuk mendapat pengatusan yang baik petak ditinggikan dengan pelapisan tanah setinggi 10 – 15 cm dari dasar tanah.
4. Membenamkan keranjang untuk menempatkan kompos dengan jalan:
 - Ω Membuat lubang sedalam 15 cm dengan jarak 1 m, kemudian tanam keranjang kompos.
 - Ω Masukkan dalam keranjang kompos, kemudian campur gulma, daun tanaman legum dan semak. Selama proses pengomposan tak perlu dibalik cukup setiap waktu ditambah biomasnya.
 - Ω Setelah beberapa minggu sayuran ditanam disekitar keranjang kompos dengan jarak 7,5 cm, sehingga perakaran dapat menyerap hara disekitar keranjang kompos.
 - Ω Penyiraman dilakukan bukan pada tanaman tetapi pada keranjang.
 - Ω Setiap 6 bulan kompos yang matang disebar ke petak pertanaman.
 - Ω Pekarangan dibagi menjadi beberapa blok, satu blok untuk sayuran yang rutin dipetik, blok ke-2 sayuran semi musiman, dan blok ke-3 sayuran musiman.
 - Ω Di sekitar pekarangan ditanami tanaman keras/pohon baik yang permanen atau semi permanen seperti buah-buahan dan kacang.
 - Ω Pergiliran tanaman perlu dilakukan.

4.10. Petak Pertanaman dan Pemberian Pupuk Organik

Ini adalah langkah pertama yang dilakukan dengan mencampurkan dan menggemburkan tanah hingga kedalaman 30 hingga 60 cm, untuk meningkatkan sirkulasi udara dan daya serap air, sehingga memungkinkan pertumbuhan biota lebih baik. Untuk mengurangi kepadatan tanah, lapisan mulsa dari jerami atau rumput dapat diletakkan di atas permukaan.

Saat penanaman dilakukan, penting untuk menambahkan pupuk organik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas fisik tanah, menyediakan nutrisi, dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah.

Adanya tambahan kompos juga diperlukan pada area penanaman. Sejak awal pembuatan area, dibutuhkan sekitar $0,75 \text{ m}^3$ untuk setiap 10 m^2 , yang jika dirata-rata setara dengan ketebalan 7,5 cm di atas permukaan tanah. Untuk musim tanam berikut, cukup ditambahkan $0,25 \text{ m}^3$ atau setebal 2,5 cm. Selain itu, saat menggali sedalam 60 cm, bisa juga ditambahkan abu, kulit telur, sisa pakan ikan, daun lamtoro, bubuk tulang, dan kompos yang dicampurkan dengan tanah setebal 15 cm sebelum menanam biji. Pupuk cair dapat diterapkan setiap 4 hari sekali, khususnya di musim hujan karena banyak nutrisi yang hilang. Pupuk cair ini bisa berasal dari daun tanaman légum atau pupuk kandang yang difermentasi dengan air.

BAB 5.

SISTEM PENGENDALIAN HAMA TERPADU

5.1. Apa Itu PHT?

Pengendalian Hama Terpadu, atau PHT, juga dikenal sebagai Pengendalian Jasad Pengganggu secara Terpadu. Ini adalah terjemahan dari istilah "*Integrated Pest Control*" atau "*Integrated Pest Management*". Prinsip dasarnya adalah menggabungkan berbagai metode pengendalian yang dipilih dalam satu strategi untuk mengatasi hama atau organisme pengganggu tanaman. "Manajemen Hama" bisa diartikan sebagai pengelolaan atau studi tentang hama. Dalam simposium yang diadakan oleh Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa di Roma pada tahun 1965, disepakati bahwa istilah "*Pest Management*" setara dengan "*Integrated Pest Control*".

Hingga kini, banyak pakar telah memberikan berbagai definisi dan batasan mengenai PHT, namun inti dari definisi tersebut tetap sama. Berikut adalah beberapa definisi yang menggambarkan apa itu PHT, di antaranya:

1. Pengelolaan Hama Terpadu adalah metode perlindungan yang melibatkan penilaian dan penggabungan semua teknik pengendalian tersedia ke dalam satu program terpadu untuk mengendalikan populasi hama sehingga kerugian ekonomi bisa dihindari dan dampak negatif bagi lingkungan diminimalkan.
2. Pengelolaan Hama Terpadu adalah cara memilih tindakan pengendalian hama secara cerdas untuk memastikan hasil yang menguntungkan dari sudut pandang ekonomi, ekologi, dan sosial.
3. Pengendalian Hama Terpadu adalah pendekatan ekologi yang melibatkan berbagai disiplin ilmu untuk mengelola populasi hama dengan memanfaatkan teknik pengendalian yang bermacam-macam dan saling mendukung dalam sistem manajemen yang terkoordinasi.
4. Pengendalian Hama Terpadu adalah penerapan semua metode pengendalian yang saling dukung untuk menurunkan dan

mempertahankan jumlah organisme pengganggu di bawah tingkat yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi, guna menjaga produksi pada tingkat tinggi, dengan cara yang ramah lingkungan dan menguntungkan.

Dari keempat definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa Pengendalian Hama Terpadu (PHT) memiliki beberapa karakteristik penting yang membedakannya dari pengendalian hama yang bersifat tunggal atau konvensional. Karakteristik tersebut adalah:

- a. Tujuan utama PHT bukanlah untuk memusnahkan atau memberantas hama, tetapi untuk mengendalikan populasi hama agar tetap di bawah ambang batas yang dapat merugikan. Strategi PHT tidak bertujuan untuk memberantas hama, melainkan untuk membatasi populasi hama. Pandangan yang menyatakan bahwa semua hama yang ada harus dihilangkan adalah salah dan tidak sejalan dengan prinsip PHT.
- b. Dalam praktik pengendalian hama, berbagai metode atau teknik yang telah dikenal digunakan, tanpa bergantung pada satu metode tertentu saja. Semua teknik pengendalian diintegrasikan dan saling mendukung dalam suatu sistem manajemen yang utuh.
- c. Untuk mencapai tujuan utama PHT, yang bertujuan mempertahankan populasi hama di bawah batas kerusakan ekonomi, produktivitas pertanian harus ditingkatkan pada tingkat yang optimal. Pelaksanaan PHT perlu didukung oleh kelayakan sosial ekonomi pada masyarakat sekitar dan secara ekologis harus dapat dipertanggungjawabkan.

5.2. Mengapa Harus PHT ?

Munculnya konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT) sangat terkait dengan kebutuhan untuk menjalankan PHT dalam mengendalikan tanaman yang terganggu oleh hama. Ide ini muncul karena pengalaman menunjukkan bahwa metode pengendalian hama yang terlalu bergantung pada pestisida dapat menimbulkan masalah, seperti dampak buruk bagi lingkungan.

Sejak awal tahun 1940-an, ketika jenis pestisida organofosfat dan karbamat ditemukan, banyak orang beranggapan bahwa masalah hama dan

organisme pengganggu tanaman (OPT) telah teratasi dengan penyemprotan pestisida. Pada awalnya, metode ini memberikan hasil yang memuaskan. Namun, lambat laun, muncul hama yang dapat bertahan terhadap pestisida. Penggunaan pestisida secara berulang dengan dosis yang meningkat telah menimbulkan dampak negatif, seperti hama yang menjadi tahan, munculnya jenis hama baru, serta terbunuhnya musuh alami dan organisme lain yang tidak menjadi target.

Di samping itu, penyemprotan pestisida menyebabkan adanya residu pada hasil pertanian, mencemari air, tanah, dan udara, serta menimbulkan pencemaran lingkungan yang berdampak buruk bagi kesehatan manusia dan hewan peliharaan. Pada saat itu, para ahli menyadari bahwa mengendalikan hama hanya dengan penyemprotan pestisida bukanlah satu-satunya solusi yang tepat. Pendekatan ini perlu dilihat dari sudut pandang yang lebih luas, dengan mempertimbangkan aspek ekologis, ekonomi, dan kesehatan lingkungan secara keseluruhan, melalui program yang sekarang dikenal dengan sebutan Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) atau *Integrated Pest Management* (IPM). Program PHT telah diperkenalkan di Indonesia sejak tahun 1986 untuk tanaman padi, yang dimulai dengan larangan pemerintah terhadap 56 jenis insektisida untuk penyemprotan hama pada tanaman padi.

Metode pengendalian menggunakan pestisida memang bisa menyelesaikan masalah hama jika dibandingkan dengan metode lain, karena pestisida efektif dalam membunuh hama dan lebih mudah digunakan. Namun, pemakaian pestisida yang terus menerus dapat menimbulkan beberapa masalah, seperti:

a. Hama Resisten.

Hama tidak lagi mati dengan dosis atau konsentrasi pestisida yang biasa. Contoh hama adalah ulat kubis *Plutella xylostella* yang menunjukkan ketahanan terhadap DDT.

b. Munculnya Resurgensi Hama.

Resurgensi hama terjadi setelah penyemprotan pestisida, di mana populasi hama yang awalnya berkurang tiba-tiba meningkat jauh melebihi jumlah sebelum penyemprotan. Penyebab resurgensi ini adalah matinya musuh alami atau efek fisiologis dari penggunaan berbagai jenis pestisida, sehingga mendorong perkembangan hama lebih banyak dari biasanya.

Contohnya, beberapa pestisida dilaporkan telah menyebabkan resurgensi hama wereng coklat (*Nilaparvata lugens*).

c. *Munculnya Hama Sekunder.*

Hama yang dulunya tidak dianggap penting menjadi masalah penting. Sebagai contoh, hama ganjur (*Orseolia oryzae*) muncul di sawah Jawa Barat setelah penyemprotan pestisida untuk mengendalikan hama pengerek batang padi (*Tryporyza innotata*). Selain itu, wereng coklat muncul menggantikan hama pengerek batang padi yang mungkin disebabkan oleh penggunaan pestisida yang intensif.

d. *Musnahnya Musuh Alami.*

Menghadapi permasalahan di atas, muncul gagasan bahwa metode pengendalian hama perlu dilaksanakan dengan mempertimbangkan aspek ekonomi, serta menjaga kelestarian lingkungan. Dalam konteks ini, lahirlah ide baru dalam pengendalian yang menyatakan bahwa upaya melawan organisme pengganggu tanaman tidak hanya bergantung pada penyemprotan pestisida, yang menunjukkan ada alternatif lain yang dapat dipraktikkan. Metode ini awalnya melibatkan kombinasi antara pengendalian hayati dan cara kimia, lalu dikembangkan lebih lanjut dengan memilih beberapa metode pengendalian yang bisa digabungkan secara harmonis dalam upaya menanggulangi hama tanaman, dengan penekanan pada aspek ekonomi, ekologi, dan sosial. Konsep ini dikenal sebagai Pengendalian Hama Terpadu, yang pertama kali diperkenalkan oleh Sten, Smith, Van den Bosch, dan Hagen pada tahun 1959 di Universitas California, Amerika Serikat.

e. *Kecelakaan Akibat Pestisida (Keracunan).*

Pestisida dapat diserap, ditelan, terkena mata, atau menembus kulit, yang mungkin terjadi pada pengguna, pelaksana, atau melalui makanan yang dikonsumsi, sehingga dapat menyebabkan keracunan. Teknologi pengendalian hama yang berbasis pestisida ternyata tidak selalu bisa mengatasi permasalahan hama tanaman. Bahkan, penggunaan pestisida dapat memberikan dampak buruk bagi manusia, organisme yang bukan target, serta lingkungan. Fakta ini meningkatkan kesadaran akan perlunya pendekatan pengendalian baru yang dapat meminimalkan efek

negatif dari penggunaan pestisida. Pendekatan yang dikembangkan adalah pengendalian hama terpadu.



Gambar 32. Dampak penggunaan pestisida yang tidak bijaksana.

Awalnya, konsep PHT diartikan sebagai gabungan pengendalian hama secara hayati dan kimia menggunakan pestisida. Namun, seiring waktu teknik pengendalian telah berkembang dengan mengintegrasikan semua metode pengendalian hama. Ini termasuk pengendalian fisik, pengendalian mekanik, pengendalian melalui pertanian, pengendalian hayati, dan pengendalian kimia. Dengan cara ini, diharapkan petani dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida.

5.3. Pengendalian Hama dan Penyakit

Persiapan tanah yang tepat dapat membantu mengendalikan serangan hama. Varietas lokal yang sesuai dengan kondisi daerah setempat dibudidayakan dan dikembangkan karena biasanya lebih tahan terhadap hama dan penyakit. Menanam berbagai jenis tanaman bisa mengatasi hama, sementara aroma tertentu dari tanaman seperti bawang putih dan bawang merah dapat mengusir hama. Jika hama tetap ada, kita bisa membuat pestisida alami dari bahan-bahan yang sudah tersedia.

Di tingkat internasional, khususnya di negara-negara berkembang, telah diterapkan program Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) selama beberapa dekade terakhir untuk meningkatkan hasil dan kualitas pertanian. Indonesia dikenal di dunia sebagai negara berkembang pertama yang berhasil menerapkan PHT di kalangan petani dan sekarang menjadi model bagi negara lain dalam mengadopsi dan mengembangkan PHT yang sesuai dengan kondisi pertanaman, ekosistem, serta sistem sosial ekonomi masyarakat. Prinsip pendidikan orang dewasa yang diwujudkan dalam Sekolah Lapangan Pengendalian Hama Terpadu (SLPHT) telah diakui manfaat dan efektivitasnya oleh banyak pihak sebagai cara untuk memberdayakan petani dalam konteks negara berkembang.

Sebagai pelopor dalam penerapan SLPHT, Indonesia ini berfokus pada banyak jenis tanaman dan ekosistem, termasuk tanaman padi, palawija, dan sayuran di dataran rendah dan tinggi. Sejak tahun 1997, kami telah memulai SLPHT untuk memberdayakan petani pekebun pada enam komoditas perkebunan: kopi, teh, kakao, jambu mete, lada, dan kapas di 12 provinsi. Dengan pendekatan SLPHT, penerapan dan pengembangan PHT oleh petani bertujuan untuk memberdayakan petani agar bisa mengambil keputusan sendiri dalam pengelolaan agroekosistem dan sistem usaha tani dengan dasar penalaran dan prinsip-prinsip PHT, yaitu: budidaya tanaman yang sehat, pelestarian serta pemanfaatan musuh alami, pengamatan ekosistem secara rutin, dan menjadikan petani sebagai ahli PHT.

5.4. Sifat Dasar Pengendalian Hama Terpadu

Karakteristik utama dari pengendalian hama terpadu sangat berbeda dibandingkan dengan metode pengendalian hama tradisional yang masih banyak diterapkan saat ini. Dalam pengendalian hama terpadu, tujuan utamanya bukan untuk menghancurkan atau membasmi hama, tetapi untuk mengontrol populasi hama agar tetap di tingkat yang tidak menyebabkan kerugian ekonomi. Strategi pengendalian hama terpadu fokus pada pembatasan, bukan eradikasi. Program ini mengakui adanya toleransi manusia terhadap populasi hama atau kerusakan yang diakibatkan oleh hama itu sendiri. Dalam kondisi tertentu, keberadaan serangga atau hewan tertentu bisa saja bermanfaat bagi manusia. Pandangan yang menyatakan bahwa setiap individu hama harus dihilangkan tidak sejalan dengan prinsip pengendalian hama terpadu.

Pengendalian hama dengan pendekatan pengendalian hama terpadu dianggap sebagai metode multilateral, yaitu memanfaatkan berbagai cara atau teknik yang tersedia. Pendekatan ini tidak hanya mengandalkan satu metode saja, seperti penggunaan pestisida secara eksklusif atau penanaman varietas tahan hama. Sebaliknya, semua teknik pengendalian harus diintegrasikan sebisa mungkin dalam satu sistem pengelolaan yang komprehensif. Selain karakteristik dasar yang telah disebutkan, pengendalian hama terpadu juga harus ramah lingkungan. Implementasinya seharusnya tidak merusak lingkungan yang berpotensi merugikan makhluk hidup, hewan, dan manusia, baik untuk saat ini maupun di masa depan.

5.5. Landasan Utama PHT

Pengendalian Hama Terpadu (PHT) merupakan suatu metode pengendalian yang serasi yang senantiasa berlandaskan pada aspek-aspek ekonomis, ekologis dan sosiologis.

a. Aspek Ekonomis

Dilihat dari sudut pandang ekonomi, pelaksanaan PHT bertujuan untuk mengurangi jumlah hama hingga di bawah tingkat kritis, agar produksi tanaman dapat dilakukan secara maksimal dengan biaya yang minimum. Oleh karena itu, sangat penting untuk menentukan batas ekonomi untuk setiap jenis hama pada masing-masing tanaman, khususnya jika perlu diambil langkah pengendalian dengan pestisida.

Salah satu syarat utama dalam penerapan PHT adalah menggunakan batas ekonomi sebagai panduan dalam mengambil keputusan mengenai pengendalian. Dengan informasi mengenai batas ekonomi ini, tindakan untuk mengatasi hama dapat dilakukan secepatnya sebelum hama menyebabkan kerugian. Dengan cara ini, biaya pengendalian bisa diminimalkan, sehingga diharapkan dapat memberikan hasil atau keuntungan optimal.

b. Aspek Ekologis

Sebelum menerapkan PHT, perlu dilakukan analisis mengenai interaksi antara hama di agroekosistem dengan faktor-faktor lingkungan, baik yang fisik maupun yang biotik. Aktivitas manusia yang tidak tepat dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan menyebabkan

peningkatan jumlah hama, terutama karena hilangnya musuh alami di lingkungan.

Keterbatasan informasi tentang kondisi lingkungan, terutama terkait dengan ekosistem pertanian lokal dan keberadaan hama, menjadi penghalang untuk berhasilnya penerapan PHT. Dari sudut pandang ekologi, semua langkah dalam penerapan PHT harus mendukung agar faktor-faktor lingkungan dapat membantu mengurangi pertumbuhan populasi hama. Salah satu cara adalah dengan menciptakan dan mengubah elemen lingkungan sehingga tidak mendukung pertumbuhan hama, mengaplikasikan metode pengendalian yang ramah lingkungan, serta meningkatkan dan menjaga keberlangsungan hidup musuh alami di area tersebut.

c. Aspek Sosiologis

PHT adalah teknologi yang bertujuan untuk menjaga hasil pertanian tetap tinggi demi meningkatkan penghasilan petani atau pelaku usaha tani. Dalam hal ini, petani sebagai penerima serta pelaksana PHT di lapangan harus diberi pengetahuan yang memadai tentang pengendalian hama secara efektif. Metode PHT adalah teknik pengendalian hama yang harus dipahami, dikuasai, dan dilaksanakan oleh petani. Oleh sebab itu, pelaksanaan metode ini perlu disesuaikan dengan kemampuan, pengetahuan, dan pengalaman petani agar mereka dapat mengerti dan melaksanakannya dengan baik. Untuk mencapai keberhasilan, dukungan serta bimbingan yang cermat dari semua pihak terkait, seperti pemerintah, penyuluh, tenaga ahli, dan juga petani itu sendiri, sangat diperlukan.

Dengan demikian, pihak-pihak yang mendukung dan membina petani harus memahami terlebih dahulu konsep PHT. Aspek seperti kondisi pertanaman, kepemilikan lahan, dan dukungan dari semua pihak yang berhubungan dengan pembangunan pertanian secara umum merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam penyampaian konsep PHT. Telah banyak konsep dan strategi pengendalian hama yang diciptakan oleh para ahli, namun dalam pelaksanaannya sering terhambat oleh ketersediaan sarana dan prasarana di tingkat petani. Oleh karena itu, untuk memungkinkan metode tersebut diterapkan oleh petani, teknologi pengendalian yang sesuai dengan ketersediaan sarana dan prasarana di tingkat petani harus diciptakan (teknologi tepat guna).

5.6. Unsur-Unsur Dasar PHT

Terdapat 4 unsur dasar (*Basic Element*) yang terdapat dalam setiap program PHT, yaitu:

a. *Pengendalian Alamiah (Natural Control)*

Pengendalian alamiah merujuk pada metode pengendalian yang menggunakan musuh alami, seperti predator, parasit, dan patogen, atau dikenal juga sebagai pengendalian biologis di alam. Yang dimaksud dengan pengendalian alami adalah penurunan jangka panjang terhadap populasi hama, yang terjadi berkat interaksi dari faktor-faktor yang ada di lingkungan secara keseluruhan. Pertumbuhan populasi di alam tidak selalu berkembang tanpa batas; terdapat batas atas dan batas bawah, dan umumnya populasi berfluktuasi antara kedua batas tersebut. Istilah yang biasa digunakan untuk menjelaskan kondisi ini adalah "keseimbangan populasi".

Keseimbangan populasi dapat dipahami sebagai sebuah sistem penyangga. Ini berarti bahwa dalam keadaan tertentu, populasi dapat meningkat atau menurun dari tingkat normal, tetapi ada kecenderungan untuk kembali ke posisi keseimbangan aslinya. Secara umum, tingkat populasi dibentuk dan dipertahankan dalam berbagai jenis lingkungan oleh faktor-faktor fisik dan biologi. Perubahan atau hilangnya keseimbangan biasanya disebabkan oleh tindakan manusia, tetapi kemampuan manusia juga dapat mengubah dan menciptakan kondisi lingkungan yang kurang mendukung perkembangan hama, dan ini merupakan harapan untuk keberhasilan PHT.

b. *Pengambilan Contoh (Sampling)*

Perencanaan pengambilan sampel yang efektif adalah elemen penting dalam menerapkan pengendalian hama yang rasional, terutama dalam PHT dengan baik. Tujuan dari metode pengambilan sampel adalah untuk mengukur jumlah hama serta tingkat kerusakannya, dan ini menjadi hal yang diperlukan untuk menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait pengendalian. Penting untuk memahami jumlah populasi hama dan ambang ekonomi agar keputusan yang diambil dalam PHT cukup berarti.

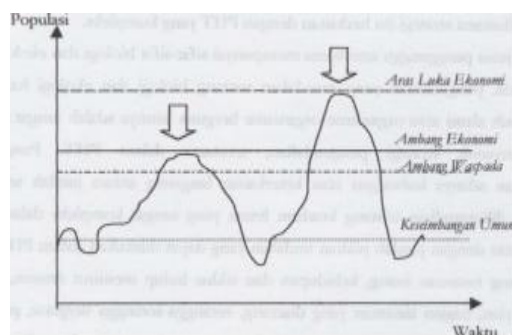
Umumnya, program PHT memanfaatkan metode pengambilan sampel yang paling mudah untuk memperoleh informasi yang diperlukan untuk membuat keputusan mengenai pengendalian. Jenis-jenis

pengambilan sampel yang bisa dilakukan termasuk acak, bertahap, berdasarkan area tertentu, dan menggunakan perangkap. Untuk menentukan populasi hama, kita dapat menghitung jumlah hama yang ada atau menilai kerusakan yang dialami, lalu mengaitkannya dengan populasi hama tersebut.

Agar data yang diperoleh dari pengambilan sampel bisa digunakan secara efektif, pengamat harus mencatat informasi tersebut dalam lembar observasi. Lembar ini harus dirancang agar bisa memberikan informasi penting tentang hama serta predator alaminya, identifikasi di lapangan, tanggal pengambilan sampel, dan komentar terkait pengumpulan data, termasuk informasi mengenai tanaman atau bagian tanaman yang terinfeksi. Penyusunan catatan yang sistematis dan melakukan pengamatan dengan teratur adalah syarat utama dalam pelaksanaan PHT.

c. *Tingkat Ekonomik/Ambang Ekonomi (Economic Threshold)*

"Ambang Ekonomi" atau "Tingkat Ekonomi" merujuk pada jumlah minimal populasi hama yang bisa menimbulkan kerugian secara finansial. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengendalian agar kerusakan lebih besar pada tanaman tidak terjadi. Ambang ekonomi juga berarti batas yang menunjukkan seberapa banyak hama yang dapat menimbulkan kerugian jika dibiarkan, sehingga tindakan pengendalian harus segera diambil. Selain itu, ambang ekonomi bisa diartikan sebagai persentase kerusakan tanaman akibat hama, yang menunjukkan bahwa jika kerusakan mencapai persentase tertentu, maka pengendalian harus dilaksanakan segera.



Gambar 33. Grafik Kedudukan Aras Luka Ekonomi dan Ambang Ekonomi

d. *Biologi dan Ekologi Hama:*

Hama memainkan peran yang sangat penting dalam program PHT. Dengan mempelajari hama secara menyeluruh, kita dapat memahami apa itu hama, kapan dan di mana mereka muncul, serta perilaku dan karakteristik mereka. Informasi ini sangat penting untuk menentukan langkah-langkah yang paling tepat dalam pengendalian hama di agroekosistem, terutama yang terkait dengan PHT.

Setiap jenis hama memiliki karakteristik biologis dan ekologis yang berbeda. Memahami biologi dan ekologi dari hama serta musuh alami atau organisme bermanfaat lainnya sangat penting dalam merancang strategi pengendalian, khususnya dalam PHT. Pengalaman menunjukkan bahwa ada hubungan langsung antara jumlah informasi yang dikumpulkan tentang hama yang kompleks dalam agroekosistem dan jumlah pilihan tindakan yang tersedia dalam PHT.

Data mengenai aspek tanaman inang, siklus hidup dan kehidupannya berdasarkan musim, tempat persembunyian, bagian tanaman yang diserang, serangga bermanfaat, serta pengaruh iklim dan tanah adalah beberapa informasi penting yang digunakan untuk menetapkan kebijakan pengendalian hama yang efisien dan tepat.

Dengan melakukan sedikit penyesuaian pada agroekosistem, kita dapat menciptakan lingkungan yang kurang mendukung bagi hama atau lebih menguntungkan untuk serangga bermanfaat, atau bahkan keduanya. Pelaksanaan PHT akan lebih efektif apabila kita mengumpulkan lebih banyak data tentang biologi dan ekologi hama, serta serangga bermanfaat beserta lingkungan mereka secara keseluruhan.

Ketika populasi mencapai ambang ekonomi, saat itulah tindakan pengendalian perlu dilakukan. Jika tidak, kemungkinan akan ada kerusakan atau kerugian ekonomi, karena populasi hama akan terus meningkat hingga mencapai tingkat yang disebut "Aras Luka Ekonomik" (*economic Injurt Level*) yaitu kondisi di mana populasi hama menyebabkan kerusakan atau kerugian secara ekonomik.

5.7. Langkah-langkah Pengembangan PHT

Pengembangan sistem PHT dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi agroekosistem di sekitarnya. Oleh karena itu, cara pengembangan PHT di satu lokasi bisa saja berbeda dari cara di lokasi lain. Sistem PHT

perlu disesuaikan dengan keadaan ekosistem serta kondisi sosial ekonomi para petani yang ada di daerah tersebut.

Para pakar dan organisasi internasional seperti FAO memberi rekomendasi yang berbeda dalam pengembangan PHT. Namun, di antara berbagai pendapat tersebut, terdapat banyak kesamaan. Perbedaan muncul terutama pada penekanan dan urutan langkah-langkah yang harus diambil.

Langkah utama yang perlu dilakukan dalam pengembangan PHT adalah:

Mengidentifikasi Status Hama yang Dikelola

Hama yang menyerang agroekosistem perlu dipahami dengan baik. Informasi mengenai karakteristik hama sangat penting, mencakup perilakunya, dinamika populasi, preferensi makanan, serta tingkat kerusakan yang ditimbulkan. Pengenalan hama bisa dilakukan melalui identifikasi dan analisis status yang ada.

Dalam sebuah agroekosistem, kelompok hama dapat dibedakan menjadi hama utama, hama kadangkala (hama minor), hama potensil, hama migran, dan bukan hama. Dengan mempelajari status hama, bisa ditentukan tingkat toleransi ekonomi untuk setiap kategori hama.

Hama utama atau hama kunci adalah spesies hama yang selalu menyerang suatu area dengan tingkat serangan yang tinggi, sehingga memerlukan upaya pengendalian. Tanpa tindakan pengendalian, kelompok hama ini dapat menyebabkan kerugian ekonomi bagi petani. Dalam satu agroekosistem, umumnya hanya terdapat satu atau dua hama utama, sedangkan sisanya termasuk dalam kategori lainnya. Dalam penerapan PHT, fokus utama adalah mengurangi populasi hama utama.

Hama kadangkala atau hama minor disebut juga sebagai hama kedua. Kelompok ini terdiri dari jenis hama yang kurang signifikan, karena kerusakan yang ditimbulkan bisa ditoleransi oleh tanaman. Namun, kadang-kadang, populasinya bisa meningkat melewati batas toleransi ekonomi tanaman. Peningkatan ini mungkin terjadi akibat gangguan terhadap pengendali alami, kondisi iklim, atau kesalahan pengelolaan dari manusia. Hama ini perlu diawasi agar tidak mengalami ledakan populasi.

Hama potensil adalah sebagian besar dari serangga herbivora yang bersaing dalam mendapatkan makanan. Kelompok ini umumnya tidak menimbulkan kerugian yang berarti dan tidak berbahaya dalam kondisi pengelolaan agroekosistem yang baik. Namun, karena posisinya dalam

rantai makanan, populasi kelompok ini bisa meningkat dan menjadi hama yang merugikan, terutama jika terjadi perubahan dalam cara pengelolaan agroekosistem oleh manusia.

Hama migran adalah hama yang tidak berasal dari agroekosistem lokal. Hama ini datang dari luar dan memiliki sifat berpindah-pindah. Banyak jenis serangga seperti belalang, ulat grayak, dan beberapa burung termasuk dalam kelompok ini. Ketika kelompok hama migran ini muncul di suatu tempat, mereka dapat menyebabkan kerusakan yang cukup besar tetapi hanya dalam waktu singkat, karena mereka akan pindah ke area lain.



Gambar 34. Monitoring hama merupakan langkah PHT untuk menentukan status hama

Selain empat kelompok tersebut, ada beberapa ahli yang menambahkan satu kelompok lagi, yaitu hama sekunder atau sporadis. Hama ini biasanya dapat dikendalikan oleh musuh alaminya dalam kondisi normal, sehingga tidak menimbulkan ancaman. Masalah baru muncul ketika populasi musuh alami berkurang, misalnya akibat penggunaan pestisida.

Satu jenis serangga bisa mengalami perubahan status di waktu dan tempat tertentu. Contohnya, serangga tersebut dapat beralih dari hama yang mungkin menjadi hama utama, atau dari hama utama menjadi hama yang kurang penting.

5.8. Mempelajari Komponen Saling Tindak dalam Ekosistem

Komponen suatu ekosistem perlu ditelaah dan dipelajari. Terutama yang mempengaruhi dinamika perkembangan populasi hama utama, termasuk dalam langkah ini, ialah menginventarisir musuh alami, sekaligus mengetahui potensi mereka sebagai pengendali alami.

Interaksi antar berbagai komponen biotis dan abiotis, dinamika populasi hama dan musuh alami, studi fenologi tanaman dan hama, studi sebaran hama, merupakan bahan yang sangat diperlukan untuk menetapkan strategi pengendalian hama yang tepat.

Populasi hama di dalam sistem pertanian biasanya menunjukkan perubahan yang dipengaruhi oleh keberadaan musuh alami, seperti predator, parasitoid, dan patogen. Musuh alami berperan sebagai pengendali hayati yang menekan jumlah hama secara alami. Ketika musuh alami berada dalam jumlah banyak, biasanya populasi hama akan menurun akibat adanya tekanan dari predasi atau parasitisme. Sebaliknya, jika jumlah musuh alami berkurang atau terganggu, hama dapat berkembang dengan cepat dan menyebabkan lonjakan populasi yang merugikan tanaman.

Interaksi antara hama dan musuh alaminya bersifat dinamis, sering kali menciptakan keseimbangan ekologi. Proses ini dapat dijelaskan melalui model predator-mangsa, di mana peningkatan populasi hama menarik lebih banyak musuh alami, sehingga populasi hama akhirnya menurun kembali ke tingkat yang stabil. Namun, jika keseimbangan ini terganggu oleh faktor luar seperti penggunaan pestisida kimia, populasi musuh alami bisa berkurang secara signifikan dan tidak mampu mengendalikan hama dengan baik.

Faktor-faktor fisik, seperti suhu, kelembapan, curah hujan, dan tempat berlindung yang tersedia, juga sangat penting dalam mengatur hubungan antara hama dan musuh alaminya. Misalnya, suhu yang ekstrem, baik sangat tinggi maupun sangat rendah, dapat mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup dan reproduksi keduanya. Perubahan iklim dan kerusakan habitat juga dapat mengurangi keragaman dan efektivitas musuh alami, sehingga meningkatkan kemungkinan serangan hama.

Pengelolaan ekosistem pertanian yang berkelanjutan memerlukan pemahaman yang mendalam tentang hubungan ini. Strategi agroekologi yang menjaga keanekaragaman hayati dan mengurangi penggunaan bahan

kimia sintetis dapat membantu menjaga stabilitas populasi musuh alami. Dengan cara ini, keseimbangan ekologi dapat tetap terjaga, dan ledakan populasi hama dapat dicegah secara alami tanpa merusak lingkungan.

5.9. Penetapan dan Pengembangan Ambang Ekonomi

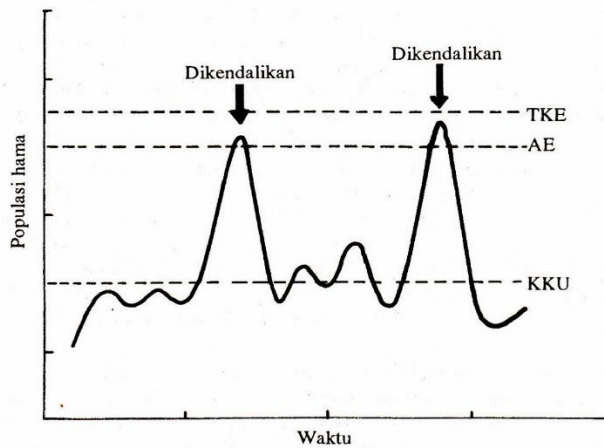
Ambang Ekonomi Kerusakan (AEK) atau ambang pengendalian sering juga diistilahkan sebagai ambang toleransi ekonomik. Ambang ini merupakan ketetapan tentang pengambilan keputusan, kapan harus dilaksanakan penggunaan pestisida. Apabila ternyata populasi atau kerusakan hama belum mencapai aras tersebut, penggunaan pestisida masih belum diperlukan.

AEK adalah jumlah populasi hama atau tingkat kerusakan tanaman yang, jika terlampaui, akan menyebabkan kerugian ekonomi yang lebih besar daripada biaya untuk mengendalikannya. Konsep ini merupakan dasar yang penting dalam melakukan keputusan tentang pengendalian hama terpadu (PHT). Dalam pelaksanaannya, AEK tidak hanya melihat seberapa banyak hama yang ada, tetapi juga mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan seperti keberadaan musuh alami serta kondisi yang mendukung atau menghambat pertumbuhan organisme pengganggu tanaman.

Musuh alami seperti predator dan parasitoid memiliki peran penting dalam mengendalikan populasi hama secara alami. Jika jumlah musuh alami dalam suatu ekosistem cukup tinggi dan efektif, maka AEK bisa dinaikkan karena ada tekanan alami terhadap hama. Sebaliknya, jika populasi musuh alami menurun akibat penggunaan insektisida atau hilangnya habitat natural, hama dapat berkembang tanpa kendali, sehingga AEK menjadi lebih rendah dan pengendalian harus dilakukan dengan lebih cepat untuk menghindari kerugian.

Faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, curah hujan, dan struktur lanskap juga memengaruhi perubahan populasi hama dan pengaruh musuh alami. Contohnya, kondisi cuaca yang baik untuk pertumbuhan hama tetapi tidak mendukung musuh alami dapat mempercepat tercapainya AEK. Di sisi lain, lingkungan yang mendukung keanekaragaman hayati bisa membantu mempertahankan keseimbangan antara hama dan musuh alaminya, sehingga frekuensi pengendalian dapat dikurangi dan efisiensi biaya pertanian meningkat.

Memahami hubungan antara AEK, musuh alami, dan kondisi lingkungan menjadi sangat penting dalam mengelola hama dan penyakit tanaman. Pendekatan ini mendorong penerapan metode pengendalian yang ramah lingkungan dan berdasarkan ekosistem. Dengan menerapkan prinsip-prinsip ekologi dalam menetapkan AEK, para petani dapat membuat keputusan yang lebih bijaksana, efektif, dan berkelanjutan untuk menjaga hasil pertanian mereka.



Gambar 35. Fluktuasi populasi hama dalam hubungannya dengan tingkat kerusakan (TKE), AEK, dan kedudukan keseimbangan umum (KKU)

5.10. Sistem Pengamatan dan Monitoring Hama

Sistem pengamatan dan monitoring hama merupakan komponen penting dalam pengelolaan hama terpadu (PHT) yang mendukung pertanian berkelanjutan. Melalui pemantauan rutin terhadap populasi hama di lapangan, petani dapat memperoleh informasi yang akurat mengenai dinamika populasi dan potensi risiko serangan. Hal ini memungkinkan pengambilan keputusan pengendalian yang tepat waktu dan berbasis data.

Berbagai metode dapat digunakan dalam kegiatan monitoring, mulai dari observasi langsung, pemasangan perangkap hama, hingga pemanfaatan teknologi canggih seperti sensor otomatis dan drone. Sistem ini juga semakin terintegrasi dengan platform digital yang mampu

mengolah data cuaca, kelembaban, dan geolokasi untuk memperkirakan kemunculan hama dengan lebih presisi.

Aspek penting lainnya adalah identifikasi hama dan pengenalan musuh alami yang berperan dalam keseimbangan ekosistem. Pendekatan ini mendukung strategi pengendalian hayati, mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, dan menjaga kelestarian lingkungan. Monitoring yang baik akan mengarahkan tindakan pengendalian agar bersifat selektif dan tepat sasaran.

Implementasi sistem monitoring yang efektif tidak hanya berkontribusi pada peningkatan hasil panen, tetapi juga meningkatkan ketahanan pangan nasional. Oleh karena itu, integrasi antara teknologi, pengetahuan lokal, dan dukungan kelembagaan menjadi kunci sukses dalam membangun sistem pengamatan hama yang adaptif dan berkelanjutan.

5.11. Model Deskriptif dan Peramalan Hama

Dengan mengetahui gejala populasi hama dan hubungannya dengan komponen ekosistem lainnya, maka perlu dikembangkan model kuantitatif yang dinamis. Model yang dikembangkan diharapkan mampu menggambarkan gejala populasi dan kerusakan yang ditimbulkan pada waktu yang akan datang, sehingga dapat diperkirakan dinamika populasi, sekaligus mempertimbangkan bagaimana penanganan agar tidak sampai terjadi ledakan populasi yang merugikan secara ekonomi.

Pengelolaan hama terpadu (PHT) adalah sebuah pendekatan strategis dalam pertanian yang bertujuan untuk menekan jumlah hama agar berada di bawah batas ekonomi, dengan mempertimbangkan lingkungan dan keberlanjutan. Salah satu elemen kunci dalam PHT adalah pengembangan model deskriptif dan ramalan hama. Model tersebut memberikan gambaran menyeluruh tentang dinamika populasi hama dalam ekosistem pertanian dan memprediksi kemungkinan serangan di masa depan, sehingga pengendalian dapat dilakukan dengan tepat waktu dan efektif.

Model deskriptif hama dibuat berdasarkan pengamatan lapangan yang mencakup populasi hama, sebaran geografis, fase pertumbuhan tanaman, serta kondisi lingkungan seperti suhu, curah hujan, dan kelembaban. Model ini dimanfaatkan untuk menganalisis pola kemunculan

hama, mengenali faktor-faktor yang memengaruhi dinamika populasinya, dan mengevaluasi respons terhadap tindakan pengendalian yang sebelumnya telah dilakukan. Data yang dihasilkan dari model deskriptif menjadi dasar bagi perencanaan pengelolaan hama yang sesuai dengan lokasi dan waktu tertentu.

Di sisi lain, model ramalan hama bertujuan untuk memprediksi kemungkinan munculnya dan meningkatnya populasi hama di masa mendatang. Model ini bisa dikembangkan menggunakan pendekatan statistik (seperti regresi, analisis deret waktu), model biologis (seperti derajat hari), serta dengan teknologi kecerdasan buatan seperti *machine learning*. Data historis tentang populasi hama, iklim, dan parameter agronomis dimanfaatkan untuk melatih model agar mampu menghasilkan prediksi yang tepat. Hasil dari ramalan ini sangat krusial sebagai sistem peringatan awal bagi petani dan penyuluh.

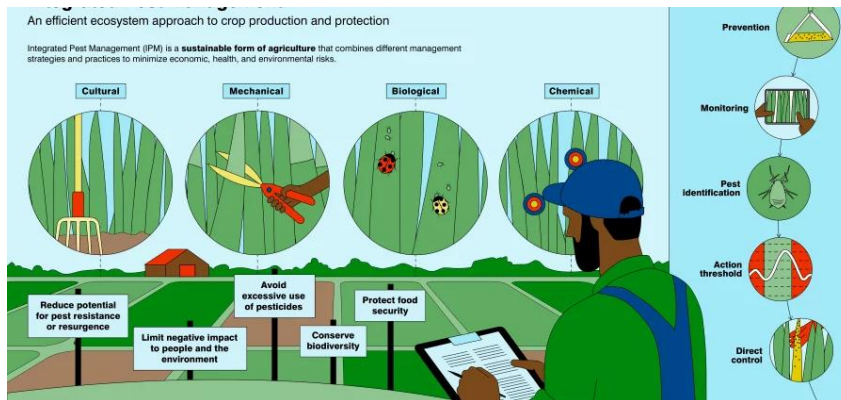
Keunggulan dari pengembangan model deskriptif dan ramalan hama terletak pada kemampuannya untuk mendukung pembuatan keputusan berdasarkan data. Dengan adanya prediksi awal, penggunaan pestisida dapat dikurangi secara signifikan karena pengendalian dilakukan hanya saat diperlukan dan pada waktu yang tepat. Selain itu, model ini juga bisa dikembangkan menjadi sistem aplikasi digital yang terhubung dengan sensor lapangan dan data cuaca secara real-time, sehingga monitoring dan prediksi hama dapat berlangsung otomatis dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, pengembangan model deskriptif dan ramalan hama merupakan inovasi penting dalam sistem pertanian modern yang fleksibel terhadap perubahan iklim dan tekanan lingkungan lainnya. Sinergi antara teknologi, ilmu statistik, dan pemahaman ekologis memungkinkan terwujudnya sistem pengendalian hama yang lebih cerdas dan berkelanjutan. Oleh karena itu, kerja sama antara peneliti, petani, dan pembuat kebijakan sangat diperlukan untuk mengintegrasikan model ini dalam praktik pertanian di lapangan.

5.12. Strategi Pengelolaan Hama

Pengendalian hama yang efisien adalah bagian penting dari pertanian berkelanjutan. Metode Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) menjadi dasar utama dalam pendekatan ini, yang memadukan berbagai

teknik untuk mengurangi penggunaan pestisida kimia. PHT meliputi pengawasan rutin, penentuan jenis hama, pemilihan varietas tanaman tahan hama, serta penerapan cara-cara pengendalian alami dan mekanis. Tujuan pelaksanaan PHT adalah untuk mempertahankan keseimbangan ekosistem pertanian dan memperkuat daya tahan tanaman terhadap serangan hama.



Gambar 36. Langkah Pengelolaan PHT dalam Pertanian

Perubahan iklim semakin memperumit pengelolaan hama, menyebabkan modifikasi dalam pola serangan dan distribusi hama. Oleh karena itu, metode pengendalian hama perlu fleksibel untuk menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan yang terus berubah. Penggunaan teknologi seperti alat pengukur cuaca, aplikasi GPS, dan sistem informasi geografis (SIG) memungkinkan pemantauan dan ramalan serangan hama dengan lebih tepat. Teknologi ini membantu petani membuat keputusan yang lebih baik dan spesifik waktu serta lokasi, yang meningkatkan efektivitas pengendalian hama.

Di samping itu, penggunaan pestisida alami dan biopestisida semakin didorong sebagai pilihan yang lebih ramah lingkungan. Kementerian Pertanian Indonesia mendukung pengembangan dan penggunaan pestisida organik dalam budidaya hortikultura untuk meminimalkan dampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Contoh dari penerapan strategi ini adalah Program Kampung Hortikultura Ramah Lingkungan di Sukabumi, yang melibatkan kolaborasi antara akademisi dan petani dalam pengembangan teknologi pertanian berkelanjutan.

Pendidikan dan pelatihan bagi petani tentang teknik pengendalian hama yang ramah lingkungan sangat penting untuk kesuksesan strategi ini. Melalui pelatihan, petani dapat memahami pentingnya identifikasi hama sejak dini, penggunaan perangkap, dan penerapan metode pengendalian alami. Pendekatan yang melibatkan partisipasi ini juga meningkatkan kesadaran petani tentang pentingnya keberagaman hayati dan keseimbangan ekosistem dalam praktik pertanian.

Secara keseluruhan, pengembangan strategi pengelolaan hama yang menyeluruh dan fleksibel terhadap perubahan lingkungan merupakan langkah penting untuk mencapai pertanian berkelanjutan. Kerja sama antara pemerintah, akademisi, dan petani sangat krusial dalam pelaksanaan strategi ini, guna memastikan keberhasilan dalam pengendalian hama yang efektif dan ramah lingkungan..

5.13. Organisasi PHT

Pengendalian Hama Terpadu atau PHT adalah cara strategis untuk mengelola Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT), yang menggabungkan berbagai metode pengendalian dengan pendekatan ekologis dan ekonomis. Keberhasilan PHT membutuhkan sebuah organisasi yang dapat beradaptasi dan berfungsi dengan baik, yang mampu mengelola sumber daya serta teknologi, dan memberdayakan petani dalam membuat keputusan yang tepat. Jadi, pengembangan organisasi PHT sangat penting bagi terciptanya sistem pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Salah satu cara yang efektif untuk mengembangkan organisasi PHT adalah dengan mendirikan Klinik PHT di tingkat desa atau area pertanian. Klinik ini bertindak sebagai pusat informasi, pelatihan, dan tempat produksi sarana pengendalian OPT yang ramah lingkungan, seperti pupuk organik dan agen hayati. Kerja sama antara Kementerian Pertanian, universitas, dan kelompok tani sangat penting bagi pengembangan klinik ini. Misalnya, Klinik PHT di Koto Panjang, Sumatera Barat, telah berhasil membantu petani memproduksi trichokompos dan agen hayati lainnya, yang mana secara langsung menurunkan biaya produksi dan meningkatkan kesejahteraan para petani.

Selain itu, menguatkan kelembagaan petani melalui perubahan menjadi Kelembagaan Ekonomi Petani (KEP) juga adalah langkah penting

dalam pengembangan organisasi PHT. Melalui pembentukan koperasi atau gabungan kelompok tani, petani bisa meningkatkan skala usaha, efisiensi produksi, serta daya tawar di pasar. Bantuan dari penyuluh pertanian dan dukungan dari pemerintah terkait modal dan akses pasar sangat diperlukan dalam proses ini.

Pendidikan dan pelatihan yang berkelanjutan untuk petani dan penyuluh pertanian juga merupakan hal yang sangat penting dalam pengembangan organisasi PHT. Dengan program seperti Sekolah Lapangan dan kompetisi teknologi pertanian, petani bisa meningkatkan pengetahuan serta keterampilan dalam mengelola agroekosistem dengan cara yang berkelanjutan. Sebagai contoh, di Kalimantan Barat, Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura mengadakan kompetisi teknologi untuk mendorong kreativitas penyuluh dalam menciptakan dan menerapkan teknologi pertanian yang inovatif.

Secara keseluruhan, pengembangan organisasi PHT yang didasarkan pada kerja sama, kelembagaan yang kuat, dan peningkatan kapasitas petani menjadi langkah strategis untuk mewujudkan pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Diharapkan dengan dukungan berbagai pihak, termasuk pemerintah, perguruan tinggi, dan komunitas, PHT dapat dilaksanakan secara luas dan efektif di seluruh Indonesia.

BAB 6.

PENGOMPOSAN

Sampah adalah bahan yang dihasilkan dari aktivitas manusia atau alam yang dibuang dan masih tidak memiliki nilai ekonomi. Jika tidak dikelola dengan benar, sampah bisa menjadi masalah serius. Penumpukan sampah di tempat sembarangan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, termasuk tanah, air, dan udara. Sampah yang terbuat dari plastik dapat merusak struktur tanah, pembakaran sampah bisa mencemari udara, dan membuang sampah ke dalam air dapat menyebabkan pencemaran pada sumber air, membuatnya keruh, berbau, bahkan berbahaya.

Sampah dibagi dalam dua kategori, yaitu organik dan anorganik. Sampah organik berasal dari bahan alami, seperti tumbuhan mati, kotoran hewan, dan sisa-sisa pertanian. Sebaliknya, sampah anorganik berasal dari bahan non-alami seperti plastik, kardus, dan karet. Sampah organik, seperti sisa dapur dan hasil pertanian, mudah ditemukan dan dapat diolah menjadi pupuk organik yang bermanfaat untuk menyuburkan tanah.

Kompos adalah pupuk organik yang dibuat oleh manusia dari proses pembusukan sampah organik, seperti sisa makanan dari dapur, kotoran hewan, dan jenis sampah organik lainnya yang telah terdekomposisi. Kompos tidak hanya dapat meningkatkan unsur hara, tetapi juga membantu menjaga fungsi tanah agar tanaman tumbuh dengan baik. Memanfaatkan kompos sebagai sumber nutrisi bagi tanaman adalah salah satu cara untuk mengurangi penggunaan bahan kimia. Proses pengomposan dapat berlangsung lebih cepat dengan bantuan mikroorganisme, umumnya menggunakan larutan EM4. Proses pengomposan yang efektif ditandai dengan penurunan rasio C/N seiring berjalannya waktu.

6.1. Proses Pengomposan

Sampah Organik (Kompos) adalah hasil dari penguraian bahan organik yang dilakukan oleh mikroba, yang menghasilkan kompos dengan rasio C/N yang rendah. Bahan terbaik untuk proses pengomposan memiliki rasio C/N sekitar 30, sedangkan kompos yang dihasilkan memiliki rasio C/N kurang dari 20. Bahan organik dengan rasio C/N yang lebih tinggi dari 30 membutuhkan waktu lama untuk terurai, sedangkan rasio yang terlalu rendah dapat menyebabkan kehilangan nitrogen yang menguap selama proses penguraian. Kompos yang dihasilkan melalui fermentasi dengan teknologi mikroba yang efisien dikenal sebagai bokashi. Metode ini memungkinkan pembuatan kompos berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan metode tradisional.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengomposan, yaitu:

- a. Susunan Bahan; Jika bahan kompos merupakan campuran dari berbagai macam bahan tanaman, proses penguraiannya relatif lebih cepat dari bahan yang berasal dari tanaman sejenis.
- b. Ukuran Bahan; Semakin kecil ukuran potongan bahan asalnya, semakin cepat proses penguraian bahan, ukuran ideal potongan bahan mentah sekitar 4 cm, jika potongannya terlalu kecil, timbunan menjadi padat sehingga tidak ada sirkulasi udara
- c. Kelembaban tumpukan bahan kompos; Kehidupan dan aktivitas mikroba sangat dipengaruhi oleh kelembaban yang cukup, tidak boleh terlalu kering atau berlebihan air. Proses dekomposisi aerobik optimal pada kelembaban antara 40 hingga 60 %.
- d. Aerasi tumpukan; Hal ini terkait erat dengan tingkat kelembaban. Jika kondisi terlalu anaerob, hanya mikroba anaerob yang akan hidup, sementara mikroba aerob akan mati atau pertumbuhannya terhambat. Di sisi lain, jika terlalu aerob dan udara bebas masuk ke tumpukan bahan kompos, nitrogen akan hilang dari penguapan NH_3 . Dalam pembuatan kompos, setidaknya 50 % dari konsentrasi oksigen di udara harus mencapai semua bagian dari bahan yang sedang dikomposkan.
- e. Suhu 60 derajat Celcius harus dijaga; Selama proses pengomposan, selalu ada peningkatan suhu yang dapat membuat bahan organik mencapai temperatur bahkan hingga 60 derajat

Celcius. Pada suhu ini, banyak mikroba yang mati atau hanya sedikit yang dapat bertahan hidup. Untuk mengurangi suhu, umumnya dilakukan pembalikan tumpukan kompos.

- f. Komposisi bahan baku kompos; rasio C/N awal sangat penting untuk kesuksesan pengomposan karena prinsip dari proses ini adalah menurunkan rasio C/N bahan organik hingga setara dengan rasio C/N tanah. Rasio C/N ideal untuk pengomposan adalah antara 20 hingga 40 persen.
- g. Proses pengomposan menghasilkan asam organik; Hal ini menyebabkan pH menjadi turun. Pembalikan tumpukan juga berfungsi menetralkan kadar asam.
- h. Penetrasi keasaman; Tingkat kemasaman (pH kompos yang ideal berkisar antara 6 hingga 8), jika kemasaman terlalu tinggi, maka bisa ditambahkan bahan pembasa seperti kapur, dolomit, atau abu. Pemberian abu tidak hanya menetralkan kemasaman, tetapi juga menambah unsur hara Ca, K, dan Mg di dalam kompos yang dihasilkan.
- i. Mempercepat dan meningkatkan kualitas kompos; Tumpukan dapat diberikan pupuk yang mengandung hara, terutama P. Sebenarnya, P disediakan untuk mikroba agar pertumbuhannya lebih cepat. Pemberian hara ini juga meningkatkan kualitas kompos karena kadar P di dalamnya lebih tinggi, lantaran residu P sulit terbilas dan tidak menguap.

Proses pengomposan akan lebih efisien dan cepat jika bahan bakunya berukuran kecil. Oleh karena itu, bahan yang berukuran besar perlu dicacah atau digiling agar ukurannya lebih kecil. Biomassa yang lebih kecil akan lebih mudah terdekomposisi karena memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga memudahkan aktivitas mikroorganisme yang menguraikan bahan tersebut. Teknologi pengomposan yang ada kurang efektif dan efisien jika digunakan untuk jumlah biomassa yang banyak. Dibutuhkan tenaga kerja, peralatan, dan waktu yang cukup untuk memperkecil ukuran biomassa serta melakukan pengadukan dan pembalikan bahan untuk memastikan sirkulasi oksigen yang cukup.

Tabel 4. Karakteristik Bahan Baku yang Sesuai untuk Proses Pengomposan

Karakteristik Bahan	Kisaran	
	Baik	Ideal
C/N ratio	20: 1 – 40: 1	25: 1 – 30: 1
Kandungan air (%)	40 – 60	50 – 60
Konsentrasi O ₂ (%)	> 5	≥ 5
Ukuran Partikel (inci)	1	bervariasi
pH	5,5-9	6,8 – 8,5
Densitas (kg/m ³)	< 0,7887	-
Temperatur (° C)	43 – 65,5	54-60

6.2. Penyiapan Starter dan Tempat

Persiapkan bahan yang dibutuhkan: sampah organik coklat, sampah organik hijau, tanah, air sisa cucian beras, dan bisa juga ditambahkan EM4 sebagai bioaktivator untuk mempercepat proses penguraian. Cara mengaktifkan EM4 adalah sebagai berikut: a) panaskan air sebanyak 15 liter sampai mendidih; b) masukkan molase (1000 ml) atau gula pasir dan aduk hingga tercampur dengan baik; c) setelah air dingin atau hangat, tuangkan ke dalam ember, kemudian tambahkan 1 botol EM4 dan aduk hingga merata; d) biarkan EM4 selama 24 jam sebelum digunakan.

Siapkan alat yang sesuai dengan jenis komposter yang dipilih, yaitu Tatakur: keranjang berlubang, kardus bekas; Gerabah: pot gerabah, bor; Komposter ember: drum plastik atau metal bekas cat atau lainnya, atau terpal dan tanah yang berlubang.

6.3. Kegiatan Pengomposan

Pencampuran sampah kering dengan sampah basah dilakukan menggunakan sistem bertingkat. Untuk mencapai tinggi 100 cm, lima lapisan daun kering dan lima lapisan sampah basah dibuat. Lapisan paling bawah terdiri dari daun kering, diikuti oleh lapisan sampah basah, dan seterusnya, dengan lapisan terakhir adalah sampah basah, seperti yang ditunjukkan pada gambar. Ketebalan setiap lapisan disesuaikan dengan komposisi yang diinginkan. Jika menggunakan perbandingan 50 persen daun kering dan 50 persen sampah basah, ketebalan tiap lapisan akan

menjadi 10 cm. Sedangkan untuk perbandingan 60 persen daun kering dan 40 persen sampah basah, lapisan daun kering menjadi 12 cm dan lapisan sampah basah 8 cm. Untuk rasio 40 persen daun kering dan 60 persen sampah basah, lapisan daun kering berukuran 8 cm, dan lapisan sampah basah 12 cm.

Pemilihan rasio antara daun kering dan sampah basah tergantung pada karakteristik sampah basah itu sendiri. Rasio yang sesuai diperlukan agar campuran biomassa tetap lembab, tetapi tidak terlalu banyak mengeluarkan air lindi. Jika sampah basah memiliki sedikit kandungan air, seperti dalam kasus tertentu, rasio bisa jadi 50 persen daun kering dan 50 persen sampah basah. Namun, jika sampah basah tersebut berasal dari buah-buahan yang mengandung banyak air, sebaiknya menggunakan perbandingan 60 persen daun kering dan 40 persen sampah basah.

Gunakan dekomposer (EM4) sebagai starter atau jenis mikroorganisme lainnya. Campurkan 1 cc EM4 ke dalam 1 liter air, lalu tambahkan 1 gram gula sebagai media tumbuh, diamkan selama 1 hari. Simpan bahan organik yang telah dihaluskan di atas terpal, kemudian campurkan serbuk gergaji pada bahan tersebut dengan perbandingan C dan N. Semprotkan EM4 yang telah diencerkan lalu aduk sampai merata, jaga kelembaban dikisaran 30-40%. Gunakan drum, tong plastik atau alat yang kedap udara, kemudian masukan bahan organik yang telah dicampur tadi lalu tutup rapat. Proses fermentasi dapat berlangsung hanya dengan umur 4 hari namun untuk waktu terbaik, kamu bisa menghitung selama 7 hari atau 10 hari. Suhu saat fermentasi berkisar 35-45° C. Apabila pupuk kompos telah matang dapat dicirikan dengan aroma bau tanah.

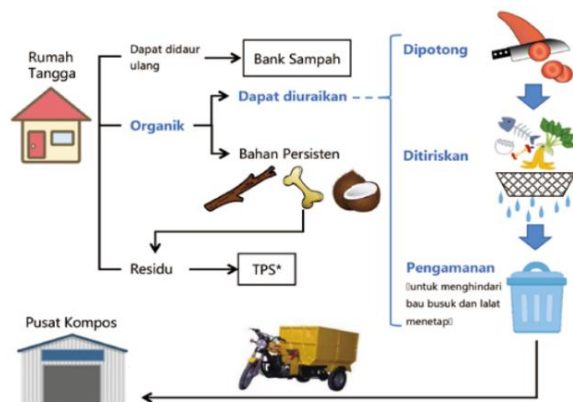


Gambar 37. Proses pencampuran dan pembalikan kompos limbah ternak

Biomassa yang merupakan campuran dari daun kering dan sampah basah perlu dimasukkan ke dalam kantong glangsing dan ditempatkan di tempat yang tidak terpapar hujan serta tidak terkena sinar matahari langsung. Secara berkala, perlu memeriksa dengan membuka kantong glangsing dan memasukkan tangan hingga kedalaman 25-30 cm untuk memastikan bahwa temperatur campuran biomassa meningkat, yang menjadi pertanda ada aktivitas mikroba, serta memastikan kondisi biomassa tetap lembab dan tidak kering.

6.4. Pemanenan Kompos

Pemanenan kompos dilakukan ketika kompos sudah siap, ditandai dengan suhu yang hampir sama dengan suhu lingkungan, warna yang berubah menjadi hitam atau gelap, tidak berbau, dan strukturnya yang remah, yang dapat hancur jika diremas. Kompos yang sudah matang bisa langsung dicampur dengan media tanam atau disimpan dalam kemasan untuk sementara waktu sebelum digunakan. Langkah-langkah pemanenan meliputi: 1. Menuangkan biomas kompos dari glangsing secara bertahap (sedikit demi sedikit); 2. Mengaduk biomas untuk mencampurkan daun kering dan sampah basah secara merata; 3. Memasukkan biomas kompos ke dalam kantong, bisa menggunakan kantong plastik berwarna gelap atau glangsing, dengan ukuran sesuai pilihan, bisa 5 kg, 10 kg, atau 25 kg; 4. Menyimpan biomas kompos di tempat yang terlindung sinar matahari langsung dan hujan.



Gambar 38. Pengelolaan sampah rumah tangga

BAB 7.

PENERAPAN TEKNOLOGI PERTANIAN TERPADU

7.1. Kondisi Indonesia di Era Digitalisasi

Tidak dapat dipungkiri bahwa kemajuan zaman yang sangat cepat mengharuskan dunia untuk menanggapi perubahan dengan lebih cepat. Sejak teknologi internet mulai menyebar luas di tahun 1990-an, berbagai transformasi telah terjadi di hampir semua sektor pembangunan dan kehidupan manusia, yang akhirnya melahirkan revolusi industri 4. 0.

Pada masa ini, semua proses kerja menjadi lebih efektif dan efisien berkat otomatisasi dan komputerisasi yang memadukan teknologi Internet of Things, Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligent*), Big Data, dan Robotika. Oleh karena itu, penguasaan teknologi yang terus berkembang selama era industri 4. 0 ini sangat penting untuk bersaing secara global.

Indonesia, dengan sumber daya alam dan manusia yang melimpah, seharusnya mampu menjadi negara yang unggul dalam konteks industri 4.0. Namun, hingga saat ini, kemampuan kita dalam menguasai teknologi masih tergolong rendah. Kemampuan ilmu pengetahuan dan teknologi kita masih berada di level tiga, dengan lebih dari 75 persen teknologi yang dibutuhkan masih diimpor (UNDP, 2010). Selain itu, kecepatan internet kita juga belum sebanding dengan negara tetangga seperti Singapura, Thailand, Malaysia, Vietnam, Brunei, dan Filipina.

Lebih menyedihkan lagi, dalam penilaian daya saing digital yang dilakukan pada tahun 2018, Indonesia menempati urutan ke-62 dari total 63 negara (IMD *World Digital Competitiveness Ranking*, 2018).

Kondisi ini menjadikan Indonesia berada dalam kategori '*Nascent Countries*' atau negara yang masih baru 'melek' untuk menghadapi revolusi industri 4.0 dalam laporan *Readiness for the Future of Production* (WEF, 2018). Saat ini, pemerintah juga merespons dengan menyusun peta jalan 'Making Indonesia 4.0 untuk menerapkan strategi revolusi industri ini di Indonesia.

Lima sektor industri yang menjadi prioritas awal antara lain industri makanan dan minuman, tekstil dan pakaian, otomotif, kimia, serta elektronik. Namun, sektor-sektor pembangunan lainnya juga memiliki

peluang untuk menerapkan teknologi industri 4.0. Salah satu sektor yang menjanjikan adalah sektor pertanian. Sebagai negara agraris dengan sebagian besar penduduk bekerja di bidang pertanian dan kontribusi terbesar ketiga terhadap PDB setelah manufaktur dan perdagangan (BPS 2019), Indonesia perlu segera melakukan revolusi industri 4.0 di sektor pertanian. Penerapan teknologi ini bisa meningkatkan produktivitas hasil pertanian dengan lebih baik dan efisien.

Teknologi ini dapat diterapkan dalam berbagai aspek usaha mulai dari pengumpulan database usaha dan pelaku usaha, proses produksi, akses investasi, hingga akses pasar. Beberapa aplikasi telah mulai digunakan di Indonesia seperti Sistem Monitoring Pertanaman Padi (SIMOTANDI), Sayurbox, Kecipir, Pak Tani Digital, Limakilo, Tanihub, dan iGrow untuk membantu akses pemasaran serta investasi di sektor pertanian. Sayangnya, penggunaan aplikasi tersebut ini belum terlalu luas dan sering mengalami masalah teknis. Pada kenyataannya, sebagian besar petani kita masih bergantung pada teknologi tradisional.

Salah satu negara yang berhasil menerapkan revolusi industri 4.0 dalam bidang pertanian adalah China. Negara yang dikenal sebagai 'Tirai Bambu' ini telah menciptakan sistem pertanian pintar (*smart farm*) dengan produksi yang berlangsung di dalam ruangan. Pertanian pintar ini tidak memerlukan cahaya matahari, tidak memakai pestisida maupun bahan kimia, dan juga bisa menghemat penggunaan air. Berbagai teknologi industri 4.0 lainnya yang telah diperkenalkan meliputi *drone sprayer* (Drone penyemprot pestisida dan pupuk cair), Drone Pemantauan (untuk melakukan pemetaan lahan), serta Sensor Tanah dan Cuaca. Data yang dapat diperoleh dari sensor ini termasuk kelembapan udara dan tanah, suhu, pH tanah, tingkat kelembapan, dan juga prediksi waktu panen. Teknologi-teknologi ini telah banyak dikembangkan di negara-negara yang memiliki sektor pertanian besar seperti Amerika, China, India, Australia, dan Jepang.

7.2. Teknologi dan Produksi Pertanian

Teknologi pertanian adalah suatu bentuk inovasi yang dikembangkan dan dikuasai oleh masyarakat lokal, yang bersifat ramah lingkungan dan khusus ditujukan untuk mengelola komoditas unggulan di daerah tertentu. Hal ini juga memberikan nilai tambah yang tinggi. Tiga

aspek penting dari teknologi ini mencakup: metode yang lebih baik, penggunaan alat baru, dan penambahan bahan input dalam usaha tani. Selain itu, ada tiga kriteria yang harus dipenuhi oleh teknologi, yaitu: 1. Teknologi baru harus lebih baik daripada yang lama, 2. Mudah dioperasikan, dan 3. Meminimalkan risiko saat diimplementasikan.

Dalam praktiknya, para petani lebih jarang memanfaatkan teknologi yang mereka miliki sendiri. Sebagai contoh, dalam penggunaan benih dan pestisida, sebagian besar dari mereka memilih merek, seperti ciherang untuk benih dan vista, serta posting untuk pestisida yang biasanya dibeli di toko pertanian. Pemakaian produk tersebut bervariasi berdasarkan luas lahan yang dikelola; semakin besar area yang digarap, semakin banyak yang diperlukan, dan sebaliknya, semakin kecil areanya, maka semakin sedikit yang dibutuhkan. Dalam konteks teknologi untuk pengolahan lahan, alat seperti traktor, pompa air, mesin pemisah padi, dan alat panen sering digunakan. Penelitian menunjukkan bahwa teknologi memiliki dampak signifikan secara individu dalam meningkatkan hasil dan pendapatan. Ini menunjukkan bahwa teknologi memiliki peranan penting dalam peningkatan produksi.

Teknologi telah menjadi elemen krusial dalam meningkatkan kualitas produk. Di era yang semakin terhubung dan bersaing ini, perusahaan tidak lagi dapat bergantung pada metode tradisional untuk memproduksi barang dan layanan berkualitas. Teknologi menawarkan solusi inovatif dan efisien untuk menghadapi berbagai tantangan. Peran teknologi dalam meningkatkan kualitas produk dapat dilihat dari bagaimana perubahan yang dihadirkan dalam proses produksi dan memberikan keuntungan yang signifikan bagi petani dalam mencapai tingkat kualitas yang lebih baik. Dari penggunaan otomatisasi hingga analitik data, teknologi telah membuka peluang besar untuk kemajuan luar biasa dalam aspek kualitas produk.

7.3. Teknologi Tepat Guna

Teknologi telah menjadi elemen yang sangat penting dan tidak terpisahkan dalam kehidupan manusia, termasuk dalam sektor pertanian dan bercocok tanam. Teknologi yang sesuai untuk kegunaan sehari-hari adalah jenis teknologi yang dirancang untuk memudahkan pelaksanaan tugas dan aktivitas sehari-hari masyarakat. Teknologi tepat guna berperan

penting dalam beragam bidang kehidupan untuk membantu mengatasi berbagai masalah yang dihadapi. Dalam tujuan memperlancar pekerjaan manusia, banyak desain teknologi tepat guna telah dikembangkan, salah satunya dalam proses mengolah bahan pertanian menjadi produk makanan lainnya. Dengan adanya teknologi ini, pekerjaan manusia tentunya menjadi lebih mudah, sehingga hasil produksi bisa lebih optimal.

Berbagai bidang, termasuk pengolahan pasca panen di sektor pertanian maupun perkebunan, telah banyak menerapkan teknologi tepat guna. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Jenny Rizkiana pada tahun 2021 mengenai penerapan teknologi tepat guna dalam pengolahan biji asam jawa menjadi tepung tamarin di Nusa Tenggara Timur. Muhammad Awaluddin Ardiansyah dan Rudianto juga menerapkan teknologi ini dalam pembuatan produk lokal dengan bahan dasar sagu. Dalam program pengabdian kepada masyarakat yang diadakan, teknologi tepat guna digunakan untuk mengolah sagu menjadi tepung. Pada tahun 2020, Gusni Susanti dan rekan-rekannya juga menjalankan program pengabdian kepada masyarakat dengan menggunakan teknologi ini dalam produksi tepung dari ubi ungu. Selain itu, pada tahun 2023, Arsyam Mawardi, I Made Budi, dan Daniel Lantang menerapkan teknologi tepat guna dalam mengolah singkong menjadi tepung tapioka asli Papua.

Teknologi yang tepat guna telah dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di desa, terutama dalam sektor pertanian. Keterlibatannya menawarkan berbagai keuntungan, seperti: 1) Mempercepat pengelolaan lahan pertanian, termasuk proses pengolahan tanah, penanaman, dan pemanenan; 2) Meningkatkan efisiensi dalam hasil produksi pertanian, dalam hal waktu, biaya, dan hasil panen; 3) Membantu mengurangi penggunaan sumber daya alam seperti air dan tanah, sehingga menjaga lingkungan tetap lestari; 4) Menciptakan peluang kerja baru di bidang pertanian, serta meningkatkan pendapatan bagi petani desa; 5) Mengurangi dampak negatif yang mungkin terjadi pada lingkungan.

Implementasi teknologi tepat guna di pertanian desa merupakan langkah yang strategis untuk mencapai pertanian berkelanjutan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat desa. Namun, kolaborasi antara pemerintah dan masyarakat sangat diperlukan untuk mengatasi berbagai hambatan serta memaksimalkan keuntungan dari teknologi tersebut.

Berikut ini beberapa contoh dari teknologi tepat guna yang telah diterapkan dalam pengembangan sektor pertanian di desa: 1) Mini traktor untuk pengolahan lahan pertanian yang lebih cepat dan efisien; 2) Mesin penanam padi yang mempercepat proses penanaman serta menjaga keseragaman jarak tanam; 3) Sistem irigasi tetes untuk menghemat penggunaan air dan meningkatkan efektivitas pemupukan; 4) Green house atau rumah kaca untuk mengontrol kondisi lingkungan, sehingga memungkinkan petani untuk bercocok tanam sepanjang tahun.

Teknologi yang tepat untuk digunakan, terutama dalam hal alat untuk memanen padi dan alat yang menangkal gulma di pertanian organik, sangat membantu dalam mempermudah proses pemanenan padi. Selain itu, alat-alat ini juga meningkatkan efisiensi waktu untuk memanen padi serta melindungi dari hama dalam pertanian organik. Di Desa Dlingo, Kabupaten Boyolali, penerapan teknologi tepat guna dilakukan melalui pengenalan dan hubungan penggunaan teknologi tersebut yang mendukung sektor pertanian organik. Penggunaan alat pemanen padi memberikan dampak positif bagi para petani yang memakainya. Alat ini memiliki berbagai keunggulan, seperti metode memotong yang pendek atau langsung mengumpulkan jerami ke mesin, serta metode di mana jerami dipegang dengan tangan. Selain itu, kerusakan pada gabah yang terjadi akibat penggunaan alat pemanen cukup minimal, yaitu sekitar kurang dari dua persen, dan kemampuan alat dalam memisahkan sangat baik, dengan efisiensi pemisahan mencapai hingga sembilan puluh delapan persen dan kapasitas kerja yang dapat mencapai lima ratus kilogram per jam, tergantung pada kapasitas mesinnya.

7.4. Teknologi Informasi Cuaca dan Kondisi Tanah

Berbagai teknologi dapat digunakan untuk mendapatkan data mengenai cuaca dan kondisi tanah, di antaranya:

- a) Sensor dan *Internet of Things*, dengan alat ini, kita dapat memantau keadaan lahan secara langsung. Informasi ini membantu dalam membuat keputusan yang lebih akurat, seperti menentukan waktu terbaik untuk menanam, menyiram, dan memupuk.
- b) Pemetaan Lahan, Teknologi pemetaan yang menggunakan drone atau satelit menghasilkan peta lahan yang sangat rinci. Peta ini membantu para petani dalam menemukan area subur,

memaksimalkan penggunaan pupuk, dan merencanakan pola tanam yang lebih efisien.

- c) Sistem Informasi Geografis, memungkinkan analisis data spasial seperti topografi, jenis tanah, dan curah hujan. Data ini sangat penting dalam memilih tanaman, manajemen air, dan pencegahan hama serta penyakit.

Penggunaan teknologi *Internet of Things* membantu petani di Kabupaten Kutai Timur dalam memperkirakan kondisi cuaca serta jumlah pupuk yang diperlukan di lahan pertanian. Teknologi ini menggunakan sensor tanah dan cuaca yang bisa dipantau lewat aplikasi. Petani mendapatkan manfaat besar karena mereka dapat memperkirakan kebutuhan Nitrogen, Fosfat, dan Kalium untuk lahan mereka. Kebutuhan unsur tersebut dapat dilihat dengan jelas. Pertanian digital yang sedang berlangsung bertujuan untuk membangun ekosistem pertanian digital di suatu daerah, dengan proses bisnis dari hulu sampai hilir.

Idealnya, teknologi pertanian seharusnya tidak hanya berfokus pada peningkatan produktivitas dan hasil panen, tetapi juga perlu mempertimbangkan aspek penjualannya.

Pemanfaatan perangkat dan aplikasi untuk memantau pertanian telah berhasil meningkatkan Gabah Kering Panen dari 6,5 ton menjadi 9 ton per hektare. Para petani menyambut baik hasil nyata dari teknologi ini. Dalam kegiatan Monitoring Evaluasi Pertanian 4.0 di Kabupaten Sukabumi, pemasangan perangkat sensor tanah dan cuaca memungkinkan petani mendapatkan informasi tentang komposisi pupuk, waktu tanam, waktu panen, dan prediksi hama dengan lebih akurat. Sensor tersebut dipantau menggunakan aplikasi RiTx Bertani dan dilaporkan dalam pertemuan Gapoktan serta kepada petugas PPL.

7.5. Teknologi Limbah dan Lingkungan

Teknologi limbah dan lingkungan semakin memprioritaskan pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan bersama mikroorganisme tanah, termasuk mikoriza, bakteri pengikat nitrogen, dan bakteri pelarutan fosfat. Sejumlah besar studi empiris dan kemajuan teknologi telah menjelaskan kontribusi signifikan mikroba tanah, baik berfungsi secara otonom atau dalam hubungan simbiosis dengan tanaman

dan/atau mikroorganisme lainnya. Kontribusi tersebut dapat mencakup peningkatan ketersediaan nutrisi dan penyerapan oleh akar tanaman, serta meningkatkan penyerapan air dalam kondisi stres kekeringan. Penelitian yang dilakukan oleh Antonius Suparno menunjukkan bahwa mikroorganisme memainkan peran penting dalam mendorong pertumbuhan bibit kakao dan meningkatkan kemanjuran batuan fosfat alami yang berasal dari crandalite Papua. Aplikasi langsung fosfat alami crandalite telah diterapkan dalam budidaya bibit kakao, bersamaan dengan inokulasi Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF).

Inokulasi AMF telah terbukti secara signifikan meningkatkan potensi fosfat alami ketika diterapkan pada bibit kakao. Kemampuan AMF dalam meningkatkan potensi fosfat alami lebih dioptimalkan ketika inokulasi AMF dikombinasikan secara sinergis dengan asam humat dan bakteri pelarut fosfat. Penerapan fosfat alami bersamaan dengan inokulasi AMF juga mendorong pertumbuhan bibit kakao dan bibit kopi.

Selain penerapan agen bakteri, penggabungan organisme jamur menghadirkan alternatif teknologi yang berkelanjutan secara ekologis, dicontohkan oleh spesies seperti *Fusarium* avirulent dan *Trichoderma*. Kemampuan kedua genera jamur ini telah menjadi subjek penyelidikan ekstensif oleh Abdul Azis Ambar *et al.* Satu studi penting berfokus pada penerapan metabolit sekunder yang berasal dari *Fusarium* sp. (khususnya asam fusarat) dalam hubungannya dengan *Trichoderma harzianum*. Hasil dari kombinasi sinergis ini menghasilkan produk yang diidentifikasi sebagai BiTrichompos. Temuan dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa BiTrichompos ini mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap jamur dan bakteri penyebab layu serta mendukung pertumbuhan tanaman melalui penyerapan unsur hara yang lebih efisien. Peningkatan mutu tanah masam dapat dilakukan dengan memadukan BiTrichompos dengan Biochar, di mana kombinasi ini memberikan dampak yang signifikan terhadap hasil tanaman sawi yang ditanam di tanah masam di Kabupaten Pinrang.

7.6. Hambatan dalam Adopsi Teknologi

Penggunaan teknologi berupa kecerdasan buatan (AI) menjadi unggulan di zaman digital saat ini. Pertanian cerdas 4.0 menjadi kesempatan bagi petani, khususnya petani milenial, sebagai aktor untuk

mendorong praktik pertanian menjadi lebih efisien, terukur, dan terintegrasi. Oleh karena itu, identifikasi dan analisis peluang serta potensi petani milenial sebagai pelaku *smart farming 4.0* dan kebijakan pemerintah yang berkaitan sangat penting, serta rekomendasi pengembangannya perlu dicermati. Dalam menghadapi ancaman krisis pangan, pemerintah harus memperkuat produksi pertanian dan pasokan pangan lokal agar dapat menggantikan komoditas pangan yang diimpor melalui praktik pertanian cerdas atau *smart farming 4.0*. Pertanian cerdas adalah metode pertanian yang memanfaatkan teknologi dan *Artificial Intelligence* (AI) untuk membantu petani dalam menjalankan tugas mereka.

Beragam jenis teknologi pertanian pintar 4.0 yaitu (1) *blockchain* yang memudahkan pelacakan rantai pasokan produk pertanian untuk pertanian off farm modern, (2) *drone sprayer* pertanian (drone yang menyemburkan pestisida dan pupuk cair), *drone surveilans* (drone untuk pemetaan lahan), (3) sensor tanah dan cuaca, (4) sistem irigasi pintar, (5) *Agriculture War Room* (AWR), dan (6) Siscrop (sistem informasi) 1.0 telah diimplementasikan di beberapa wilayah.



Gambar 39. Pemanfaatan Drone untuk penyomprotan pestisida

Beberapa tantangan dalam implementasi pertanian 4.0 (AI) meliputi rendahnya tingkat adopsi petani, biaya investasi alat *smart farming* yang tinggi, ketidakpastian mengenai kredibilitas perusahaan teknologi yang menciptakan produk alat *smart farming*, kesulitan dalam mengubah pandangan petani tentang manfaat suatu mesin pertanian, serta

kemudahan yang akan diperoleh dari penggunaan peralatan *smart farming*. Selain itu, terbatasnya akses internet di beberapa wilayah di Indonesia juga menjadi faktor penghambat. Karakteristik teknologi yang kompleks membuatnya sulit untuk menyebar, dan teknologi *smart farming*, yang dianggap sebagai teknologi baru, memerlukan investasi besar untuk pengembangannya.

Hambatan yang muncul dapat dikurangi dengan dukungan partisipasi startup di sektor pertanian untuk mendorong keterlibatan dalam mengembangkan *smart farming 4.0*, serta melaksanakan pelatihan dan peningkatan kapasitas bagi asosiasi petani untuk membantu mengatasi kendala dalam pemanfaatan teknologi. Mengajak pelaku di berbagai desa dengan melakukan (1) percobaan pemakaian alat *drone sprayer* dan drone pemantau di lahan pertanian, (2) percobaan alat sensor tanah dan cuaca, sensor debit air pada kawasan persawahan. Di samping itu, pengembangan sektor pertanian dilakukan melalui peningkatan kapasitas dan pemberdayaan komunitas (literasi teknologi, literasi data dan ICT, literasi *soft skill* serta kepemimpinan), peninjauan regulasi yang melindungi para petani, pembuatan peta jalan penelitian pertanian 4.0, pengembangan infrastruktur, peralatan, dan ekosistem yang optimal serta peningkatan kemampuan kolaborasi dengan mesin.

Ada beberapa pendekatan yang bisa dilakukan untuk menerapkan teknologi *smart farming 4.0* dan AI, yaitu 1) membangun kesadaran petani mengenai pentingnya penggunaan kecerdasan buatan (AI) serta digitalisasi teknologi; 2) meningkatkan kapasitas SDM petani melalui *capacity building* agar mereka dapat mengadopsi dan memanfaatkan kecerdasan buatan serta teknologi digital canggih lainnya; 3) menerapkan *smart farming* secara bertahap dengan tujuan yang jelas dan menetapkan kawasan yang akan menjadi prioritas; 4) memanfaatkan sumber daya manusia dan teknologi lokal, seperti inovasi yang dikembangkan oleh lembaga riset, universitas, serta konsultan swasta, sehingga biaya penerapan *smart farming* lebih rendah dan terjangkau; 5) Pemerintah berperan aktif dengan menerapkan berbagai kebijakan pro-petani seperti pembinaan, memberikan kemudahan serta membuka akses pasar untuk domestik dan ekspor agar petani lebih mudah menjual hasil pertaniannya, memberikan insentif kepada petani yang menerapkan *smart farming*, terlibat dalam pengembangan SDM, memberikan insentif riset untuk

inovasi teknologi, melindungi hak hukum serta memastikan keamanan siber dan pembangunan infrastruktur digital; 6) Pengembangan Kawasan Pertanian berbasis Korporasi Petani dan peta daya saing daerah dengan sasaran yang mencakup; peningkatan produksi, produktivitas, nilai tambah serta daya saing komoditas pertanian nasional yang diutamakan, tersedianya dukungan prasarana dan sarana pertanian di kawasan tersebut, penerapan pengetahuan, keterampilan dan kewirausahaan petani dalam mengelola ekonomi kelembagaan, serta berfungsinya sistem usaha tani secara utuh, efektif dan efisien.

Beberapa faktor penting untuk menarik perhatian generasi muda dalam pertanian, antara lain: 1) Korporasi petani dapat menciptakan kesempatan untuk menyediakan lahan yang ekonomis karena merupakan syarat dasar untuk membuka peluang tersebut; 2) Korporasi petani membutuhkan spesialisasi keterampilan, sehingga penting untuk menarik generasi muda yang terdidik serta memiliki latar belakang pertanian agar dapat mengisi posisi yang sesuai dengan kebutuhan dan keahlian spesialisasi mereka; 3) Korporasi petani menerapkan penggunaan alat pertanian modern dalam operasionalnya yang dapat menarik minat generasi muda dengan menghilangkan citra pertanian yang kotor, kumuh, dan berlumpur; 4) Korporasi petani dibentuk menjadi lembaga petani yang profesional dan modern untuk meningkatkan posisi tawar petani dan menciptakan nilai tambah bagi produk pertanian.

7.7. Teknologi Digitalisasi dengan *Artificial Intelligence* (AI)

Jika implementasi revolusi industri 4.0 di sektor pertanian Indonesia dapat berjalan dengan optimal, semua elemen yang terlibat, termasuk pemerintah, pelaku usaha, dan masyarakat lainnya, perlu saling berkolaborasi. Beberapa tindakan strategis yang perlu segera dilakukan, antara lain; **Pertama**, peningkatan kualitas sumber daya manusia melalui pendidikan, pelatihan, dan penyuluhan. Kurikulum pendidikan dan pelatihan pada semua tingkat pendidikan pertanian (SMK-Perguruan Tinggi) dan pusat pendidikan serta pelatihan (pusdiklat) pertanian perlu direvisi dengan menekankan lebih pada penerapan teknologi. **Kedua**, pembangunan infrastruktur digital yang mendukung revolusi industri 4.0 seperti jaringan *broadband*, *cloud*, pusat data, dan pengelolaan keamanan, terutama di wilayah sentra produksi pertanian. **Ketiga**, peningkatan

investasi yang substansial dan berkelanjutan untuk mendukung penerapan teknologi industri 4.0 melalui skema insentif dan kemudahan bagi investor lokal dan asing, pinjaman perbankan, serta peningkatan proporsi anggaran negara. **Keempat**, pengembangan ekosistem melalui pembentukan pusat inovasi nasional bertujuan untuk menyiapkan percontohan dan meningkatkan regulasi yang relevan, termasuk perlindungan hak kekayaan intelektual serta insentif fiskal untuk mempercepat kerja sama antara sektor swasta/BUMN dan perguruan tinggi. Dan yang **kelima**, penyesuaian norma dan kebijakan untuk menjamin adanya sinergi yang kokoh antara para pembuat kebijakan di kementerian serta lembaga yang berhubungan dengan pemerintah daerah.

Melalui penerapan berbagai tindakan tersebut, diharapkan produktivitas sektor pertanian Indonesia dapat mengalami peningkatan yang berarti dan efisien dengan mengimplementasikan industri 4.0. Selanjutnya, sektor pertanian kita mampu memberikan kontribusi dalam memenuhi kebutuhan pangan baik di tingkat nasional (swasembada) maupun internasional, mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Dalam beberapa dekade terakhir, sektor pertanian menghadapi berbagai tantangan yang semakin kompleks. Bermula dari perubahan iklim, keterbatasan lahan, dan bertambahnya permintaan pangan akibat pertumbuhan populasi. Dalam situasi ini, teknologi terbaru menjadi solusi utama untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi di sektor pertanian. Salah satu teknologi yang memiliki potensi besar adalah Kecerdasan Buatan.

Kecerdasan buatan (AI) memberikan berbagai solusi inovatif di sektor pertanian yang dapat mengatasi masalah-masalah tersebut. Berbagai inovasi yang didasarkan pada AI yang bisa diterapkan dalam sektor pertanian meliputi:

- a) *Pertanian Presisi*; Melalui penggunaan drone dan sensor berbasis AI, para petani dapat mengawasi keadaan tanah secara langsung. Teknologi ini memungkinkan analisis komprehensif mengenai kelembapan tanah, tingkat kesuburan, dan risiko serangan hama. Informasi yang dihasilkan mendukung petani dalam membuat keputusan yang lebih akurat, seperti kapan waktu terbaik untuk menanam atau menyiram tanaman.

- b) *Ramalan Cuaca dan Risiko*; Sistem AI mampu menganalisis data cuaca masa lalu dan sekarang untuk memberikan prediksi yang tepat. Ini membantu petani bersiap untuk menghadapi perubahan cuaca ekstrem yang dapat berdampak pada hasil panen.
- c) *Pengelolaan Hama Otomatis*; Melalui teknologi visi komputer dan pembelajaran mesin, AI mampu mengidentifikasi keberadaan hama atau penyakit pada tanaman secara dini. Sistem ini juga mampu memberikan saran penggunaan pestisida yang lebih efektif, sehingga meminimalkan dampak buruk pada lingkungan.
- d) *Automatisasi Alat Pertanian*; Alat-alat cerdas seperti traktor otomatis yang dibekali dengan kecerdasan buatan dapat meningkatkan efektivitas operasional. Contohnya, AI dapat menentukan rute terbaik saat pengolahan lahan atau panen hasil pertanian tanpa membutuhkan banyak tenaga kerja manusia.

Penerapan AI dan ML (*Machine Learning* = Pembelajaran Mesin) memiliki peluang besar untuk mendukung petani dalam meningkatkan ketepatan ramalan cuaca. Namun, mereka juga memerlukan data, utamanya sensor IoT, satelit, dan stasiun cuaca lokal menghasilkan data dalam jumlah besar. Apabila disusun dan diberi label dengan tepat, informasi ini dapat mendukung pembangunan model ML untuk mengidentifikasi dan meramalkan secara tepat pengaruh cuaca terhadap tanaman. Selain pola historis dan musiman, model ini juga dapat memperhitungkan keadaan cuaca saat ini dan tren iklim yang berlangsung lama. Seluruh informasi ini dimasukkan ke dalam algoritma yang memproduksi peringatan dini, mendukung petani agar tetap siaga terhadap risiko cuaca yang mungkin muncul dan mengelola tanaman mereka dengan benar.

Dengan memanfaatkan algoritma machine learning untuk menganalisis data kelembapan tanah yang berhubungan dengan ramalan cuaca, petani dapat mengambil keputusan yang lebih tepat mengenai jumlah air yang perlu mereka gunakan untuk tanaman. Ini membantu meminimalkan pemborosan air serta meningkatkan efisiensi dalam penyiraman.

Perangkat bertenaga AI seperti HelioPas dan Cultyvate telah menunjukkan prestasi luar biasa dalam mendukung petani untuk

memantau efektivitas penggunaan air dan bahkan mengotomatiskan proses irigasi. Sekarang setelah kita meninjau teknologi yang digunakan dalam sistem pengawasan cuaca pertanian.



Gambar 40. Pemanfaatan AI untuk pengaturan penyiraman tanaman.

REFERENSI

- Abolla, N., Nimrot EM. Neonufa, Laurensius W. Wardhana, & M.Basri, 2023. KAJIAN PENGEMBANGAN SISTEM PERTANIAN TERPADU PADA MODEL USAHATANI KONSERVASI BERBASIS TEKNOLOGI HEDGEROW DALAM PENGELOLAAN AGROEKOSISTEM LAHAN LERING DI DATARAN TINGGI NETPALA, TTS. PARTNER 1: 611 – 619.
- Aimanah, U., & Vandalisna, 2019. TEKNOLOGI PENANGANAN DAN PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN. Pusat Pendidikan Pertanian, Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian, Kementan.
- Ambar, AA., Reski Febriana, & Nur Ilmi, 2021. ANTAGONISTIK BITRICHOMPOS DAN PSEUDOMONAS FLUORESCENS DALAM MENEKAN PENYAKIT LAYU BAKTERI (RALSTONIA SOLANACEARUMI) PADA TANAMAN TOMA, Prosiding Seminar Nasional Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan, 276 – 283.
- Aminullah, A., Abdul Azis Ambar, & Suherman, 2021. KOMBINASI BITRICHOMPOS DAN BIOCHAR UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TANAH DAN PRODUKTIVITAS TANAMAN SAWI (BRASSICA JUNCEA) PADA TANAH MASAM. Prosiding Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis ke-45 UNS, 5 (1): 526 – 533.
- Badan Ketahanan Pangan Kementerian Pertanian, 2019. KEBIJAKAN STRATEGIS KETAHANAN PANGAN DAN GIZI 2020 – 2024. Sekretariat Dewan Ketahanan Pangan.
- Bharata, W., Muhammad Hafidz Alfidhin Hasbar, Nur Alissa Ariani, Muhammad Sultoni Sutejo, Nur Khairinnisa Syarah, Firly Arbita Priambodo, & Very Verdiansyah, 2023. BUDIDAYA TANAMAN HOLTIKULTURA SEBAGAI PERWUJUDAN KETAHANAN PANGAN MASYARAKAT DESA LIANG ULU. *Darmabakti* 4 (1): 64 – 69.

- Dethan, JJS, NJ. Lapingga, NPPE Nainiti, & M. Makaborang, 2024. SISTEM PERTANIAN TERPADU. Tahta Media Grup.
- Elfina S. Y., Elfaisna, Faidah Azuz, Euis Amilia, Ade Sumiahadi, Sri Firmiaty, Yusnaini, Asni, Sutiharni, Nanik Astuti Rahman, & Marianne Reynelda Mamondol, 2022. Bunga Rampai PERTANIAN TERPADU. Nuta Media, Yogyakarta.
- Erfandi, D., 2016. ASPEK KONSERVASI TANAH DALAM MENCEGAH DEGRADASI LAHAN PADA LAHAN PERTANIAN BERLERENG. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian Politeknik Negeri Lampung. 129 – 140.
- Falasifah, N., & Rindy Sulu Setyowati, 2023. PEMANFAATAN TEKNOLOGI TEPAT GUNA PASCA PANEN DALAM MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN BIJI-BIJIAN. JMM (*Jurnal Masyarakat Mandiri*) 7 (6): 5474 – 5483.
- Fitriyah, A., Ria Harmayani, Aisah Jamili, Yuni Mariani, Ni Made Andry Kartika, & Isyaturriyadhah, 2021. PENGOLAHAN LIMBAH KOTORAN SAPI MENJADI ENERGI GAS NON FOSIL DAN PUPUK ORGANIK DI DESA BATU KUTA LOMBOK BARAT. *Selaparang Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan* 4 (3): 855 – 861.
- Griffin, J. N., & Byers, J. E. (2006). THE INFLUENCE OF SPECIES IDENTITY AND DIVERSITY ON THE SUPPRESSION OF HERBIVOROUS PESTS BY NATURAL ENEMIES. *Ecology Letters*, 9(3), 268–276. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00870.x>
- Hamidah, N., Cici Ferin Sinthia, & M. Isa Anshori, 2023. PENGAPLIKASIAN KOMPOSTER SAMPAH ORGANIK UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN PUPUK DI DESA PALENGAAN DAJAH KECAMATAN PALENGAAN KABUPATEN PAMEKASAN. *Communnity Development Journal* 4 (4): 7980 – 7991.
- Hasan, S., Nelson Pomalingo, Syamsul Bahri, 2018. PENDEKATAN DAN STRATEGI PENGEMBANGAN SISTEM PERTANIAN TERINTEGRASI TERNAK-TANAMAN MENUJU KETAHANAN PANGAN NASIONAL. Prosiding Seminar Nasional Integrated Farming System, Gorontalo 1 – 9.

- Herman, Abdul Azis Ambar, & Sabri, 2024. PEMBERDAYAAN WANITA TANI MELALUI PROGRAM PEMANFAATAN LAHAN PEKARANGAN. Abdi: *Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat* 6 (4): 710 – 718.
- Hidayati, F., Yonariza, Nofialdi, & Dwi Yuzaria, 2018. INTENSIFIKASI LAHAN MELALUI SISTEM PERTANIAN TERPADU: Sebuah Tinjauan. Seminar Nasional Pembangunan Pertanian dan Pedesaan, Vol 1: 113 – 119.
- Jackel, U., Kathrin Thummes, Peter Kampf, 2005. THERMOPHILIC METHANE PRODUCTION AND OXIDATION IN COMPOST. *FEMS Microbiology Ecology* 52: 175 – 184.
- Javaid, M., Abid Haleem, Ibrahim Haleem Khan, & Rajiv Suman, 2023. UNDERSTANDING THE POTENTIAL APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE SECTOR. *Advanced Agrochem* 2: 15 – 30.
- Kaimuddin, Rafiuddin, & Yunus Musa, 2018. PEMBINAAN USAHATANI SISTEM PERTANIAN TERPADU (TANAMAN-TERNAK) BERBASIS PADI MELALUI SEKOLAH LAPANG IKLIM (SLI). *Jurnal Dinamika Pengabdian* 4 (1): 64 – 71.
- Khakim, L., & Eko Budihartono, 2023. ALAT PENGOLAH LIMBAH RUMAH TANGGA MENJADI KOMPOS BERBASIS MIKROKONTROLER. *Komputika* 12 (2): 149 – 156.
- Lainawa, J., TFD. Lumy, & EKM. Endoh, 2024. SISTEM PERTANIAN TERPADU TANAMAN-TERNAK DAN IKAN DENGAN SISTEM LEISA DI KABUPATEN MINAHASA UTARA. Prosiding Seminar Nasional Fakultas Peternakan Universitas Sam Ratulangi 1: 214 – 230.
- Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). HABITAT MANAGEMENT TO CONSERVE NATURAL ENEMIES OF ARTHROPOD PESTS IN AGRICULTURE. *Annual Review of Entomology*, 45, 175–201. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.175>
- Luthfi, A., 2019. MODEL KELEMBAGAAN TATA KELOLA SUMBER DAYA AIR TANAH YANG BERKELANJUTAN (Studi di Desa Sumberjati Kecamatan Silo Kabupaten Jember). *Jurnal SEOI* 1 (1): 47 – 56.

- Ma'ruf, A., 2018. AGRO-PASTORAL AND PRESERVATION OF LOCAL WISDOM BONDANG FOR AGRICULTURAL SUSTAINABILITY IN ASAHAN, NORTH SUMATRA. *Agricoltura*, 1 (2): 110 – 113.
- Munadi, LM., 2020. HAMBATAN DAN PELUANG SISITEM PERTANIAN TERPADU DI ERA MODERN. Pascasarjana Ilmu Pertanian Universitas Halu Oleo, Kendari Sulawesi Tenggara.
- Nainggolan, H.L. & Johndikson A., 2012. PENGEMBANGAN SISTEM AGRIBISNIS DALAM RANGKA PEMBANGUNAN PERTANIAN BERKELANJUTAN. Makalah Disampaikan pada Seminar Nasional “Pertanian Presisi Menuju Pertanian Berkelanjutan”, Medan.
- NN, 2018. MODEL SISTEM INTEGRASI PETERNAKAN, <https://rahmidianita.staff.unja.ac.id/wp-content/uploads/sites/180/2020/04/Model-Sistem-Integrasi-Peternakan.pdf>. Diakses 27 Januari 2024.
- Nurcholis, M., G. Supangkat, 2011. PENGEMBANGAN INTEGRATED FARMING SYSTEM UNTUK PENGENDALIAN ALIH FUNGSI LAHAN PERTANIAN. Prosiding Seminar Nasional Budidaya Pertanian: 71 – 84.
- Nurdin, MS., Syamsu Alam Ali, & Dewi Yanuarita Satari, 2015. MORTALITAS DAN LAJU EKSPLOITASI RAJUNGAN (*Portunus pelagicus*) DI PERAIRAN PULAU SALEMO KABUPATEN PANGKAJENE KEPULAUAN. *Jurnal IPTEKS PSP* 2 (4): 316 – 321.
- Nurhidayati, Istirochah Pujiwati, Anis Solichah, Djuhari, & Abd. Basit, 2008. *e-book* PERTANIAN ORGANIK. PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI JURUSAN BUDIDAYA PERTANIAN FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS ISLAM MALANG.
- Rachman, A., 2017. PELUANG DAN TANTANGAN IMPLEMENTASI MODEL PERTANIAN KONSERVASI DI LAHAN KERING. *Jurnal Sumber daya Lahan* 11 (2): 77 – 90.
- Rafiuddin, RU., Siswoyo, & Ait Maryani, 2022. TINGKAT ADOPSI PENGGUNAAN PUPUK HAYATI PADA BUDIDAYA PADI SAWAH (*Oryza sativa* L.) DI KECAMATAN BUNGURSARI KOTA TASIKMALAYA. *Sepa*: 18 (2): 247 – 259.

- Rauf, A., Rahmawaty, & Dewi Budiati T.J. Said, 2013. SISTEM PERTANIAN TERPADU DI LAHAN PEKARANGAN MENDUKUNG KETAHANAN PANGAN BERKELANJUTAN DAN BERWAWASAN LINGKUNGAN. *Jurnal online Pertanian Tropik Pasca Sarjana* 1 (1): 1 – 8.
- Romauli, M., Lily Fauzia, & M. Roem S, 2014. TINGKAT ADOPSI PETANI TERHADAP TEKNOLOGI PERTANIAN TERPADU USAHATANI PADI ORGANIK (Studi Kasus: Desa Lubuk Bayas, Kecamatan Perbaungan, Kabupaten Serdang Bedagai). *Journal of Agriculture and Agribusiness Socioeconomics*, 3 (1)
- Salli, MK., Rupa Matheus, & Mika S. Rampoon, 2023. KAJIAN PRODUKTIVITAS DAN EFISIENSI PEMANFAATAN LAHAN SISTEM PERTANIAN TERPADU PADA AGROEKOSISTEM LAHAN KERING DATARAN RENDAH DESA FATUKANUTU KABUPATEN KUPANG. *Partner* 1: 507 – 515.
- Sapriyadi, Abdul Azis Ambar, Irmayani, Nursiah Ali, 2024. PEMBERDAYAAN MASYARAKAT MELALUI PEMBUATAN PUPUK ORGANIK DARI LIMBAH PERTANIAN DI DESA SEREANG KECAMATAN MARITENGNGAE KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG. SELAPARANG: *Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan* 8 (2): 1798 – 1803.
- Saripudin, E.,----. PERTANIAN RAMAH IKLIM MELALUI TUMPANGSARI TANAMAN HORTIKULTURA. Kementan RI: 8 – 12.
- Setiyo, Y., 2007. KAJIAN TINGKAT PENCEMARAN UDARA OLEH GAS NH_3 DAN H_2S PADA PROSES PENGOMPOSAN SECARA AEROB. *Agrotekno* 13 (1): 25 – 28.
- Siswawati, L., & R. Nisar, 2012. MODEL PERTANIAN TERPADU TANAMAN HORTIKULTURA DAN TERNAK SAPI UNTUK MENINGKATKAN PENDAPATAN PETANI. *Jurnal Peternakan Indonesia* 14 (2): 379 – 384.
- Soeprijanto, Danawati Hari Prajitno, Niniek Fajar Puspita, Agung Subyakto, & Budi Setiawan, 2024. PEMANFAATAN KOTORAN SAPI SEBAGAI BIOGAS MENGGUNAKAN

- DIGESTER FIXED DOME UNTUK PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN MASYARAKAT PEDESAAN. *Jurnal Pengabdian dan Penerapan IPTEK* 8 (1): 27 – 34.
- Sugiarto, R., & Duryat, D. (2020). SISTEM INFORMASI MONITORING HAMA BERBASIS IOT PADA TANAMAN PADI. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi*, 13(2), 122–130. <https://doi.org/10.21609/jiki.v13i2.833>
- Sulistiyawati, E. dan R. Nugraha (2011). EFEKTIVITAS KOMPOS SAMPAH PERKOTAAN SEBAGAI PUPUK ORGANIK DALAM MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS DAN MENURUNKAN BIAYA PRODUKSI BUDIDAYA PADI. <http://www.sith.itb.ac.id/profile/databuendah/Publications/>
- Sunkar, A., 2008. RESOURCE SUSTAINABILITY: THE DEVELOPMENT CHALLENGE IN RESOURCE-POOR AREA. *Media Konservasi* 13 (1): 46 – 52.
- Suwarto, Agustinus Tri Aryanto, & Irzal Effendi, 2015. PERANCANGAN MODEL PERTANIAN TERPADU TANAMAN-TERNAK DAN TANAMAN-IKAN DI PERKAMPUNGAN TEKNOLOGI TELO, RIAU. *J. Agron. Indonesia* 43 (2): 168 – 177.
- Tonnang, H. E. Z., Hervé, B., Biber-Freudenberger, L., Salifu, D., Subramanian, S., & Ngowi, V. B. (2017). ADVANCES IN CROP INSECT MODELLING METHODS—TOWARDS A WHOLE SYSTEM APPROACH. *ECOLOGICAL MODELLING*, 354, 88–103. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.03.015>
- Wandansari, NR., Retno Suntari, & Soemarno, 2020. PEMBUATAN KOMPOS DARI SAMPAH PASAR DENGAN TEKNOLOGI OPEN-WINDROW. *AGROINOTEK: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat* 1 (1): 1 – 13.
- Wattie, GGRW., & Sukendah, 2023. PERAN PENTING AGROFORESTRI SEBAGAI SISTEM PERTANIAN BERKELANJUTAN. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 5 (1): 30 – 38.
- Widianingrum, DC., & Rindi Wirantika Septio, 2023. PERAN PETERNAKAN DALAM Mendukung KETAHANAN PANGAN INDONESIA: KONDISI, POTENSI, DAN

- PELUANG PENGEMBANGAN. UMJember Proceeding Series 2 (3): 285 – 291.
- Widiriani, R., S. Sabiham, S. Hadi Sutjahjo, & I. Las, 2009. ANALISIS KEBERLANJUTAN USAHATANI DI KAWASAN RAWAN EROSI (Studi Kasus di Kecamatan Lembang, Kabupaten Bandung Barat dan Kecamatan Dongko, Kabupaten Trenggalek). *Jurnal Tanah dan Iklim* 29: 65 – 78.
- Winarsih, Baedhowi, Bandi, 2014. PENGARUH TENAGA KERJA, TEKNOLOGI, DAN MODAL DALAM MENINGKATKAN PRODUKSI DI INDUSTRI PENGOLAHAN GARAM KABUPATEN PATI. *Jurnal Pendidikan Insan Mandiri* 3 (2): 88 – 98.
- Yahya, S., 2018. PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PRODUKSI TANAMAN BERKELANJUTAN. *Buletin Pembangunan Berkelanjutan* 2 (1): 1 – 15.
- Zakariah, MA., Muhammad Zakariah, & Abdul Haris Nasution Zakariah, 2019. SISTEM PERTANIAN TERPADU PANGAN, PAKAN, PUPUK DAN BIOGAS DI KABUPATEN KOLAKA DAN KABUPATEN KOLAKA TIMUR. *Jurnal At-Taghyir* 2 (1): 30 – 45.
- Zulfahmi, R., Rianida Taisa, Marveldani, Yusanto, Ferziana, Hilman Hidayat, Desi Maulida, Henni Elfandari, Riana Jumawati, Mustika Adzania Lestari, Hevia Purnama Sari, Desty Aulia Putrantri, 2024. PENGENDALIAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN HORTIKULTURA SECARA TERPADU DI PEKON SIDOKATON, KECAMATAN GISTING, KABUPATEN TANGGAMUS. *Jurnal Abimana* 1 (1): 21 – 25.

TENTANG PENULIS



Dr. Ir. Abdul Azis Ambar, SP., MP. dilahirkan di Parepare Propinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 29 Maret 1972, dari seorang ibu yang hebat bernama Zubaedah Tungke dan Ayah yang bijaksana bernama Ambar Dullah. Penulis menyelesaikan pendidikan jenjang S1 pada Prodi Hama dan Penyakit Tumbuhan UNHAS pada 1998, kemudian menyelesaikan pendidikan jenjang S2 (2002) dan S3 (2012) di Universitas Gadjah Mada pada prodi Fitopatologi. Bidang ilmu yang ditekuni saat ini adalah Bioteknologi Pengendalian Hayati Penyakit Tanaman.

Berbekal ilmu tersebut penulis dipercaya untuk mengajarkan mata kuliah, antara lain: Ilmu Penyakit Tanaman, Dasar-dasar Perlindungan Tanaman, Mikrobiologi Pertanian, Pestisida dan Teknik Aplikasi, Bioteknologi, Pengendalian Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman, Sistem Pertanian Terpadu dan Agribisnis Pertanian Terpadu, Pemberdayaan Masyarakat, Kearifan Lokal pada Jenjang S1 dan S2. Juga aktif membimbing S1 dan S2 di Universitas Muhammadiyah Parepare (UMPAR). Selain mengajar, beberapa tugas penting yang diemban penulis, baik di lingkungan internal maupun eksternal, meliputi: Wakil Dekan II Fak Pertanian Peternakan dan Perikanan ((UMPAR), Dekan Fak. Pertanian (UMPAR), Wakil Rektor III (UMPAR), Ketua LPPM (UMPAR) dan saat ini diamanahkan sebagai Ketua Prodi Magister Agribisnis (UMPAR) dari tahun 2000 - 2025, Dewan Pendidikan Kota Parepare, Ketua ICMI Kota Parepare, Ketua Komisi Penyuluh Kota Parepare dan Ketua Majelis Pemberdayaan Masyarakat PDM Kota Parepare.

Kegiatan profesional penulis lainnya, melakukan riset yang didanai oleh Hiba Ristek Dikti (2000 – 2019) dan melakukan pengabdian dan pendampingan (2012 – 2025) khususnya pengendalian hayati di Kota Parepare, Kab. Pinrang, Kab. Sidrap dan Kab. Enrekang hingga membuahkan produk pupuk rekayasa “BITRICHOMPOS” yang dimanfaatkan

oleh pateni sampai saat ini. Kegiatan seminar telah dilakukan oleh penulis, baik tingkat nasional maupun internasional dan beberapa artikel juga telah terbit pada Jurnal bersinta dan Scopus. Selain itu, penulis juga ikut membantu dalam membuat naskah akademik Kesetaraan Gender di Kota Parepare, dan Pengendalian TBC di Kab. Pinrang.



Munir dilahirkan di Pangkajene Kepulauan (Pangkep) pada tanggal 7 Juli 1970. Menempuh Pendidikan Bidang Peternakan pada jenjang strata S1 program studi Nutrisi dan Makanan Ternak Fakultas Peternakan dan Perikanan (Tahun 1989) di Universitas Hasanuddin (UNHAS), gelar Magister diselesaikan pada Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta (Tahun 2007), dan gelar Doktor diperoleh tahun 2020 dari UNHAS pada program pascasarjana ilmu pertanian dengan konsentrasi bidang penelitian peternakan. Sejak tahun 1999 menjadi dosen pada program studi Peternakan Fakultas pertanian, peternakan dan perikanan di Universitas Muhammadiyah Parepare. Selama jadi dosen sering melakukan penelitian dan menjadi pembicara atau nara sumber di berbagai seminar maupun konferensi tentang Peternakan.

Beberapa artikel yang di publish pada jurnal internasional: The Ability Test of Fiber Degradation from Isolates Bacterial cellulolytic In The Rumen Buffalo (*Bubalus bubalis*) 2020 *Advances in Environmental Biology* (2019). Effect of moringa leaf Flour on Mojosari Ducks offat at various supplementation levels (2022). Proseding terindeks Scopus: The use illumina sequencing technique in studying rumen bacteria diversity of Bali cattle given a feed comprised of elephant grass and rice straw (2020) publikasi pada IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Karya-karya ilmiah dapat disitasi pada Scopus ID: 57205320255, Orcid ID: 0000-0001-9483-066X, Shinta ID: 6677278, Google Scholar ID: NzB439gAAAJ.

Buku yang pernah ditulis: Modul Nutrisi Non Ruminansia (2022) dan Modul Industri pakan ternak (2022) penerbit deepublish, obat tradisional jamu ternak (2018). Disamping itu pernah menulis book chapter dengan judul: buku antologi: pendidikan tinggi dimasa pandemi tantangan dan strategi. Penerbit de la macca (2020).

Sebagai nara sumber pada berbagai kegiatan pengabdian masyarakat baik yang diselenggarakan oleh UMPAR maupun pemerintah daerah Kota Parepare Aktif dalam kegiatan keprofesian sebagai Pendamping pada program Ipteks Bagi Masyarakat (IbM) Tani Ternak dalam pemanfaatan limbah pertanian yang difermentasi dengan *Aspergillus niger* untuk ransum sapi Bali (2013), Asessor Kompetensi Fasilitator Pertanian Organik sejak tahun 2021, Asessor Kompetensi Penyelia Halal (2022), Asessor Beban kinerja Dosen (BKD) (2022). Maupun keanggotaan keprofesian seperti Anggota Ikatan Asessor Profesional (IASPRO) dan Pengurus Asosiasi Peneliti Nutrisi dan Makanan Ternak Indonesia /*Indonesian Association of Nutritionist and feed Scientist* (AINI) Wilayah Sulawesi Selatan (2019).

A. Identitas Diri

Nama Lengkap (dengan gelar)	: Dr. Harli A. Karim, SP. MP.	
NIP/ NIDN	: 0912037401	
Tempat & Tanggal Lahir	: Tinambung & 12 Maret 1974	
Pangkat/Golongan Ruang	: Lektor/III C	
Pendidikan Terakhir/Universitas	: S3/Universitas Hasanuddin	
Jabatan Fungsional	: Lektor	
Instansi/Unit Kerja	: Fakultas Ilmu Pertanian	
Jabatan dalam Pekerjaan	: Dekan Fakultas Ilmu Pertanian Unasman	
Alamat Kantor	: Jl. Budi Utomo No. 2 Manding	
Alamat Rumah	: BTN Nusantara Indah B. 8 Desa Ugibaru, Kec. Mapilli Kab. Polewali Mandar	
Nomor HP dan E-mail	: 082348543236/harlipertanian@gmail.com	
ID Scopus	: 57207927883	
ID Sinta	: 6046735	
ID Google Scholar	: 352935	

B. Riwayat Pendidikan

No.	Nama Perguruan Tinggi	Jurusan/Prodi	Tahun Lulus
1.	Universitas Hasanuddin	Agronomi	1999
2.	Universitas Islam Makassar	Agroteknologi	2016
3.	Universitas Hasanuddin	Agronomi	2021

C. Penelitian dan Pengabdian 5 (lima) tahun terakhir

No.	Judul Penelitian	Tahun	Keterangan
1	Pengaruh Berbagai Dosis Poc Hasil Fermentasi Biogas Terhadap Pertumbuhan Bibit Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> (L.) Lini S 795)	2019	DRTM
2	Kajian Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (<i>Glicinie Max</i> L.) pada Pemberian Pupuk Organik Bioslurry Kotoran Sapi	2020	DRTM
3	Uji Produktivitas Berbagai Varietas Jagung (<i>Zea mays</i> L.) Hibrida dan Non Hibrida yang Sesuai pada Agroekosistem Kabupaten Polewali Mandar	2019	DRTM
4	Pengaruh Pupuk Organik Hasil Fermentasi Biogas Kotoran Sapi Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Kacang Tanah (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	2019	DRTM

E. Karya Tulis Ilmiah 5 (lima) tahun terakhir

No.	Judul Penelitian	Tahun	Penerbit (nama Jurnal/ Volume)	Link Publikasi
1	Peningkatan Produktifitas Tanaman Sawi Melalui Penambahan Pupuk Kandang Ayam dan NPK 16:16:16	2021	Jurnal Ahli Muda Indonesia Vol 1, No 1	https://journal.akb.ac.id/index.php/jami
	Mobile Image Processing Application For Cacao's Fruits Pest And Disease Attack Using Deep Learning Algorithm	2020	ICIC Express Letters An International Journal of Research and Surveys, 2020 Vol 14, No 10	http://www.icicel.org/index.html

No.	Judul Penelitian	Tahun	Penerbit (nama Jurnal/ Volume)	Link Publikasi
2	Development of Climate Requirements for Compatibility of Land Cocoa in Polewali Mandar District	2020	ICIC Express Letters An International Journal of Research and Surveys, Vol 14, No 10	http://www.icicel.org/index.html
3	Rhizosphere Mushrooms: Antagonistic Exploration of Rhizosphere Mushrooms in Shallot (<i>Allium ascalonicum</i> L.) Specific Location of Enrekang Regency	2021	International Journal of Scientific Research in Science and Technology Vol 8, No 6	https://technoscienceacademy.academia.edu/IJSRST
4	Uji Berbagai Varietas Padi Gogo (<i>Oriza Sativa</i> L.) dan Penambahan Biochar Kulit Kakao pada Ketinggian Menengah Kabupaten Mamuju	2020	J. Agropiantae Maret 2020, Vol 9, No 1	https://ppnp.ejournal.id/agro/index
5	Uji berbagai Sistem Tanam terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Padi (<i>Oryza sativa</i> L.)	2020	Agrovital November 2020 Volume: 4, Issue: 2	https://journal.lppm-unasman.ac.id/index.php/agrovital/index
6	Respon Pupuk Organik-Agrodyke Dan Cara Pemberian Berbeda Terhadap Pertumbuhan, Produksi Bawang Merah (<i>Allium ascalonicum</i> L.)	2020	Pegguruang: Conference Series, November 2020 Volume: Vol 3, No 1	https://journal.lppm-unasman.ac.id/index.php/pegguruang/index
7	Pengaruh Pemberian Mikroorganisme Lokal terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Cabai Rawit (<i>Capsicum frutescens</i> L.)	2020	Pegguruang: Conference Series, November 2020 Volume: Vol 3, No 1	https://journal.lppm-unasman.ac.id/index.php/pegguruang/index

No.	Judul Penelitian	Tahun	Penerbit (nama Jurnal/ Volume)	Link Publikasi
8	Pengaruh Pemberian Berbagai Jenis Pupuk Kandang dan Jarak Tanam yang Berbeda Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Wortel (<i>Daucus Carota</i> L.)	2020	Peggurung: Conference Series, November 2020 Volume: Vol 3, No 1	https://journal.lppm-unasman.ac.id/index.php/peggurung/index

F. Narasumber Kegiatan Ilmiah (Seminar/ Konferensi/ workshop/ lainnya)

No.	Judul kegiatan	Tahun	Penyelenggara
1	Oral Presenter Seminar Nasional Inovasi Teknologi Hasil Perkebunan dengan judul Refermentasi Biji Kakao Underfermented	2019	Balai Besar Industri Hasil Perkebunan
2	Oral Presenter Seminar Nasional Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Bioslurry Kotoran Sapi terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (<i>Glicine max</i> L)	2019	Prodi Agribisnis, Departemen Sosial Ekonomi Pertanian, Faperta Unhas
3	Oral Presenter Seminar Nasional Karakterisasi morfologi cendawan penyebab antraknosa pada tanaman bawang merah (<i>Allium asconicum</i> L.) di kabupaten Enrekang	2020	Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia
4	Oral Presenter Seminar Nasional <i>Conogethes punctiferalis</i> Guenee dan <i>Cryptophlebia leuchotreta</i> Meyrick : Hama Pendatang Baru pada Tanaman Kakao	2021	Perhimpunan Agronomi Indonesia
5	Oral Presenter Seminar International Development of climate and land requirements for compatibility of land cocoa plant specification based on satellite image	2021	IOP Publishing Ltd.
6	Oral Presenter Seminar International Land Suitability Evaluation for Cocoa in West Sulawesi Using Parametric Approach	2021	Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin

No.	Judul kegiatan	Tahun	Penyelenggara
7	Oral Presenter Seminar International The Effect of Climate Characteristics for the Land Suitability and Cocoa Productivity (Theobroma cacao L.) in West Sulawesi	2021	Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin
8	Oral Presenter Seminar International Evaluation Candidate of Top Cross Hybrid Quality Protein Maize (QPM) under Ecosystem of Polewali Mandar, West Sulawesi.	2021	University, Kumamoto Campus 9-1-1, Toroku, Kumamoto 862-8652,

G. Penghargaan/Piagam

No.	Peghargaan	Tahun	Pemberi

H. Keanggotaan Organisasi Profesi/Ilmiah

No.	Nama Organisasi	Tahun	Jabatan
1	Komda Sulawesi Barat Perhimpunan Agronomi Indonesia (PERAGI)	2020-Sekarang	Ketua
2	Badan Pengurus Wilayah Perhimpunan Sarjana Pertanian Indonesia (PISPI) Sulawesi Barat	2021-Sekarang	Ketua

Demikian Daftar Riwayat Hidup ini saya buat dengan sebenarnya. Jika di kemudian hari terbukti terdapat kesalahan, maka saya bersedia diberi sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Polewali, 20 Oktober 2024

Dr. Harli A. Karim, SP. MP.
NIDN : 0912037401



Penerapan **Pertanian Terpadu**

Sistem pertanian terpadu merupakan sistem produksi pertanian yang memadukan berbagai komponen seperti tanaman pangan, peternakan, akuakultur, dan sumber daya alam untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas, menjaga keberlanjutan dan keseimbangan ekosistem untuk mendukung mutu produk. Strategi ini dapat juga dikembangkan dengan mengintegrasikan teknologi, manajemen, dan sumber daya alam. Pertanian terpadu memanfaatkan lahan yang tersedia untuk menghasilkan berbagai macam produk pertanian berkualitas tinggi. Hasil yang bervariasi dari setiap komoditas pertanian diproses lebih lanjut menjadi sumber energi yang baru untuk kegiatan pertanian lainnya. Penggunaan komponen pertanian yang terkoordinasi dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi produksi yang hingga tercapai hasil produksi yang ramah lingkungan. Konsep pertanian terpadu ini juga merupakan upaya petani untuk memperbaiki sifat tanah dengan menambahkan bahan organik.

Buku ini mengulas tentang sistem pertanian terpadu. Pertanian terpadu pada hakikatnya adalah pertanian yang menjaga keseimbangan dalam ekosistemnya sendiri sehingga aliran nutrisi (unsur hara) dan energi terjadi secara seimbang. Keseimbangan ini menghasilkan produktivitas tinggi dan produksi berkelanjutan yang dipertahankan secara efektif dan efisien.

Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

📖 Penerbit Deepublish

📱 [@penerbitbuku_deepublish](https://www.instagram.com/penerbitbuku_deepublish)

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Pertanian

ISBN 978-634-01-1844-5



9

786340

118445