

BUKU REFERENSI

KEBERLANJUTAN PERTANIAN

TANTANGAN DAN SOLUSI

Elfin Efendi, S.TP., M.P.
Dr. Bayu Pratomo, S.S.T., M.P.
Lutfi Henderlan Harahap, S.P., M.Agr.
Sheli Mustikasari Dewi, S.P., M.P.



BUKU REFERENSI

KEBERLANJUTAN PERTANIAN TANTANGAN DAN SOLUSI

Elfin Efendi, S.TP., M.P.
Dr. Bayu Pratomo, S.S.T., M.P.
Lutfi Henderlan Harahap, S.P., M.Agr.
Sheli Mustikasari Dewi, S.P., M.P.



KEBERLANJUTAN PERTANIAN

TANTANGAN DAN SOLUSI

Ditulis oleh:

Elfin Efendi, S.TP., M.P.
Dr. Bayu Pratomo, S.S.T., M.P.
Lutfi Henderlan Harahap, S.P., M.Agr.
Sheli Mustikasari Dewi, S.P., M.P.

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang keras memperbanyak, menerjemahkan atau mengutip baik sebagian ataupun keseluruhan isi buku tanpa izin tertulis dari penerbit.



ISBN: 978-634-7012-72-2
IV + 213 hlm; 18,2 x 25,7cm.
Cetakan I, Januari 2025

Desain Cover dan Tata Letak:
Melvin Mirsal

Diterbitkan, dicetak, dan didistribusikan oleh
PT Media Penerbit Indonesia
Royal Suite No. 6C, Jalan Sedap Malam IX, Sempakata
Kecamatan Medan Selayang, Kota Medan 20131
Telp: 081362150605
Email: ptmediapenerbitindonesia@gmail.com
Web: <https://mediapenerbitindonesia.com>
Anggota IKAPI No.088/SUT/2024



KATA PENGANTAR

Pertanian sebagai sektor yang krusial dalam kehidupan manusia, menghadapi tantangan yang semakin kompleks. Perubahan iklim, penurunan kualitas lahan, urbanisasi yang masif, dan tekanan ekonomi adalah beberapa masalah yang perlu segera diatasi. Selain itu, tantangan seperti alih fungsi lahan pertanian, ketergantungan pada teknologi tradisional, serta lemahnya regenerasi tenaga kerja di bidang pertanian menjadi isu penting yang membutuhkan perhatian serius.

Buku referensi ini membahas prinsip dasar keberlanjutan pertanian, analisis mendalam terhadap berbagai tantangan yang dihadapi, serta strategi implementasi yang dapat dilakukan oleh para pemangku kepentingan. Dengan pendekatan multidisiplin, buku referensi ini tidak hanya relevan bagi akademisi dan mahasiswa, tetapi juga untuk praktisi, pembuat kebijakan, dan semua pihak yang peduli terhadap masa depan sektor pertanian.

Semoga buku referensi ini dapat menginspirasi dan mendorong langkah nyata untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan demi kesejahteraan umat manusia dan pelestarian lingkungan.

Salam hangat.

TIM PENULIS



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii

BAB I	PENDAHULUAN	1
A.	Definisi Keberlanjutan Pertanian.....	1
B.	Sejarah Pertanian Berkelanjutan.....	3
C.	Tujuan dan Manfaat Keberlanjutan Pertanian	12
D.	Pilar-pilar Keberlanjutan (Ekonomi, Sosial, dan Lingkungan).....	17
E.	Peran Pertanian dalam Ketahanan Pangan Global.....	24
BAB II	TANTANGAN GLOBAL DALAM PERTANIAN BERKELANJUTAN	27
A.	Perubahan Iklim dan Dampaknya.....	28
B.	Krisis Air dan Pengelolaannya dalam Pertanian	30
C.	Penurunan Kesuburan Tanah dan Erosi.....	34
D.	Ketergantungan pada Pestisida dan Pupuk Kimia	36
E.	Dampak Sosial dan Ekonomi terhadap Petani.....	39
BAB III	DEGRADASI LAHAN DAN PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM	45
A.	Penyebab Degradasi Lahan.....	45
B.	Dampak Degradasi terhadap Hasil Pertanian	48
C.	Praktik Pengelolaan Lahan Berkelanjutan.....	51
D.	Teknologi untuk Mencegah Degradasi Lahan	55
E.	Studi Kasus Pengelolaan Lahan yang Sukses.....	59
BAB IV	SISTEM PERTANIAN BERKELANJUTAN.....	63
A.	Konsep Agroekologi	63
B.	Pertanian Organik sebagai Solusi Berkelanjutan.....	67
C.	Agroforestry dan Sistem Pertanian Terintegrasi.....	69
D.	Diversifikasi Tanaman dan Ketahanan Pangan	71

E.	Integrasi Teknologi dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan	73
BAB V	BIODIVERSITAS DALAM PERTANIAN.....	77
A.	Peran Biodiversitas dalam Keberlanjutan Pertanian.....	77
B.	Pengaruh Monokultur terhadap Keanekaragaman Hayati .	79
C.	Konservasi Tanah dan Keanekaragaman Genetik	82
D.	Pengelolaan Hama dan Penyakit dengan Prinsip Keberlanjutan.....	83
E.	Strategi Meningkatkan Biodiversitas dalam Pertanian.....	86
BAB VI	TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM PERTANIAN BERKELANJUTAN	89
A.	Teknologi Pertanian Cerdas (<i>Smart Agriculture</i>)	89
B.	Bioteknologi untuk Pertanian Berkelanjutan.....	92
C.	Penggunaan Drone dan Sensor untuk Pengelolaan Tanaman	95
D.	Pengembangan Varietas Tanaman Tahan Iklim	98
E.	Teknologi untuk Efisiensi Penggunaan Air	101
BAB VII	KEBIJAKAN DAN REGULASI UNTUK PERTANIAN BERKELANJUTAN	105
A.	Peran Pemerintah dalam Mendorong Keberlanjutan	105
B.	Kebijakan Subsidi dan Insentif untuk Praktik Berkelanjutan	111
C.	Regulasi Lingkungan dan Pengawasan Praktik Pertanian	113
D.	Kerjasama Internasional dalam Keberlanjutan Pertanian	117
E.	Pengaruh Perubahan Kebijakan terhadap Petani	125
BAB VIII	EKONOMI PERTANIAN BERKELANJUTAN	131
A.	Model Ekonomi Pertanian Berkelanjutan.....	131
B.	Pembangunan Ekonomi Lokal dan Kesejahteraan Petani	134
C.	Manajemen Keuangan dalam Pertanian Berkelanjutan ...	137
D.	Dampak Globalisasi terhadap Ekonomi Pertanian	141
E.	Rantai Pasok dan Pasar Pertanian Berkelanjutan	145

BAB IX	SOSIAL DAN BUDAYA DALAM KEBERLANJUTAN PERTANIAN	149
A.	Peran Komunitas Petani dalam Keberlanjutan	149
B.	Pengaruh Pendidikan dan Pelatihan terhadap Praktik Berkelanjutan	156
C.	Penguatan Koperasi dan Organisasi Petani	158
D.	Gender dan Inklusi Sosial dalam Pertanian Berkelanjutan	163
E.	Budaya Lokal dan Tradisi Pertanian yang Berkelanjutan	166
BAB X	STUDI KASUS KEBERLANJUTAN PERTANIAN DI DUNIA	169
A.	Keberlanjutan Pertanian di Negara Berkembang	169
B.	Pertanian Berkelanjutan di Negara Maju.....	175
C.	Keberlanjutan Pertanian di Kawasan Tropis	178
D.	Program Internasional dan Keberlanjutan Pertanian	182
E.	Pembelajaran dari Keberhasilan dan Kegagalan	187
BAB XI	KESIMPULAN	193
DAFTAR PUSTAKA		195
GLOSARIUM.....		207
INDEKS		209
BIOGRAFI PENULIS.....		212
SINOPSIS		213



BAB I

PENDAHULUAN

Keberlanjutan pertanian merupakan topik yang semakin mendominasi perhatian global karena pentingnya sektor pertanian dalam mendukung ketahanan pangan, penghidupan, dan ekonomi masyarakat. Dalam konteks global yang semakin terpengaruh oleh perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan pertumbuhan jumlah penduduk, pertanian berkelanjutan menjadi kebutuhan yang mendesak untuk memastikan keberlanjutan sumber daya alam dan kesejahteraan generasi mendatang. Konsep keberlanjutan pertanian mencakup aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan yang harus berjalan seiring agar tercapai sistem pertanian yang efisien dan bertanggung jawab. Selama beberapa dekade terakhir, berbagai tantangan muncul terkait praktik pertanian yang tidak ramah lingkungan, mulai dari penggunaan pestisida yang berlebihan hingga penggundulan hutan untuk membuka lahan pertanian. Akibatnya, sektor ini sering menjadi penyumbang utama masalah lingkungan, seperti hilangnya keanekaragaman hayati, pencemaran tanah dan air, serta perubahan iklim yang semakin intens.

A. Definisi Keberlanjutan Pertanian

Menurut *Brundtland Report* (1987), keberlanjutan didefinisikan sebagai "pemenuhan kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya sendiri." Definisi ini menjadi dasar berbagai konsep keberlanjutan, termasuk dalam sektor pertanian. Keberlanjutan pertanian mengacu pada penerapan prinsip-prinsip tersebut di dalam sistem produksi pangan. Keberlanjutan pertanian adalah pendekatan sistemik untuk menghasilkan makanan, serat, dan produk agraris lainnya dengan cara yang menjaga ekosistem, mendukung kesejahteraan masyarakat, dan memberikan keuntungan ekonomi.

1. **FAO (Food and Agriculture Organization)**

Keberlanjutan pertanian adalah suatu sistem yang tidak hanya berfokus pada produksi pangan, tetapi juga melibatkan perlindungan dan peningkatan sumber daya alam yang ada. Ini termasuk tanah, air, dan keanekaragaman hayati yang menjadi dasar bagi pertanian yang efektif dan produktif. Sistem pertanian yang berkelanjutan harus memperhatikan keseimbangan antara pemanfaatan sumber daya alam dan upaya untuk melestarikannya, guna mendukung ketahanan pangan di masa depan.

Gambar 1. FAO



**Food and Agriculture
Organization of the
United Nations**

Sumber: *Acted*

Keberlanjutan pertanian juga berkaitan dengan efisiensi dalam penggunaan input seperti air, pupuk, dan energi. Penggunaan sumber daya yang efisien tidak hanya akan mengurangi biaya operasional bagi petani, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Ini penting untuk memastikan bahwa pertanian dapat terus berkembang tanpa merusak ekosistem yang menopang kegiatan tersebut. Dengan kata lain, efisiensi penggunaan input adalah kunci untuk mempertahankan produksi pangan jangka panjang.

2. **World Bank**

Keberlanjutan pertanian mencakup serangkaian praktik yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas pertanian. Praktik ini meliputi pengelolaan sumber daya alam yang lebih efisien, seperti penggunaan air dan tanah yang bijaksana, serta penerapan metode pertanian yang ramah lingkungan seperti pertanian organik dan agroforestri. Dengan demikian, keberlanjutan pertanian tidak hanya berfokus pada hasil yang diperoleh tetapi juga pada cara yang lebih bertanggung jawab dalam mengelola lingkungan sekitar.

World Bank membahas pentingnya meningkatkan hasil panen secara berkelanjutan. Ini berarti bahwa peningkatan produktivitas harus dicapai tanpa mengorbankan kualitas tanah atau ekosistem. Penggunaan teknologi yang tepat, pelatihan bagi petani, serta inovasi dalam teknik pertanian yang efisien dan ramah lingkungan menjadi kunci untuk mencapai tujuan ini. Meningkatkan hasil panen secara berkelanjutan dapat menjamin ketahanan pangan bagi populasi yang terus berkembang, tanpa merusak lingkungan.

3. Literatur Akademik

Gliessman (2021) menekankan bahwa keberlanjutan pertanian lebih dari sekadar efisiensi produksi pangan. Menurutnya, keberlanjutan melibatkan penciptaan sistem produksi yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga adil bagi semua pihak yang terlibat. Sistem pertanian yang berkelanjutan harus memastikan bahwa tanah, air, dan sumber daya alam lainnya digunakan secara efisien dan dipelihara untuk generasi mendatang. Praktik ini bertujuan mengurangi kerusakan lingkungan dan mendukung keseimbangan ekosistem. Lebih lanjut, Gliessman (2021) menyatakan bahwa keberlanjutan pertanian juga harus mencakup prinsip keadilan sosial, di mana para petani dan komunitas lokal menerima manfaat yang setara dari sistem produksi tersebut. Hal ini mencakup pemberian hak akses terhadap sumber daya, teknologi, dan pasar, sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan petani kecil dan komunitas pedesaan. Dengan demikian, keberlanjutan bukan hanya berfokus pada produksi pangan, tetapi juga pada kesejahteraan sosial dan ekonomi seluruh masyarakat yang terlibat dalam rantai produksi.

B. Sejarah Pertanian Berkelanjutan

Sejarah pertanian berkelanjutan berawal dari kesadaran global terhadap dampak negatif pertanian intensif terhadap lingkungan, seperti degradasi tanah, hilangnya biodiversitas, dan pencemaran air. Konsep ini muncul pada akhir abad ke-20 seiring dengan meningkatnya ketergantungan manusia pada sumber daya alam dan tantangan perubahan iklim. Di tahun 1987, laporan Brundtland mengangkat pentingnya pembangunan berkelanjutan, yang juga mencakup sektor pertanian. Sejak itu, pertanian berkelanjutan menjadi fokus global yang melibatkan penerapan teknik seperti rotasi tanaman, agroforestry, dan

pengelolaan alami untuk meningkatkan ketahanan dan produktivitas secara berkelanjutan.

1. Awal Mula: Pertanian Tradisional dan Prinsip Berkelanjutan

Pertanian tradisional di banyak masyarakat kuno secara inheren berkelanjutan karena didasarkan pada pengetahuan lokal dan prinsip-prinsip alami.

a. Masyarakat Mesir Kuno (3000 SM)

Pada masa Mesir Kuno, sekitar 3000 SM, masyarakat telah mengembangkan sistem pertanian yang sangat bergantung pada pemahaman tentang ekosistem lokal, khususnya dalam pengelolaan air di sepanjang Sungai Nil. Sungai Nil, dengan aliran tahunan yang dapat diprediksi, memberikan tanah yang sangat subur bagi pertanian. Setiap musim hujan, banjir Nil membawa lumpur yang kaya akan unsur hara, yang menyuburkan tanah pertanian di sepanjang lembah. Hal ini memungkinkan petani Mesir untuk menghasilkan tanaman pangan secara berkelanjutan, terutama gandum dan jelai.

Pentingnya sistem irigasi sederhana di Mesir Kuno terletak pada kemampuannya untuk memanfaatkan aliran air dari Sungai Nil secara efisien. Selama banjir tahunan, petani membangun saluran irigasi untuk mendistribusikan air secara merata ke lahan pertanian. Sistem ini memungkinkan tanah tetap subur bahkan setelah banjir surut, karena lapisan lumpur yang mengandung unsur hara tersebar merata. Dengan demikian, pengelolaan air secara bijak tidak hanya menjaga kestabilan hasil pertanian, tetapi juga memungkinkan masyarakat untuk mengelola lahan secara berkelanjutan tanpa perlu menggunakan teknologi canggih.

Pertanian Mesir Kuno juga mencerminkan prinsip berkelanjutan dalam hal rotasi tanaman. Petani secara bijak menanam berbagai jenis tanaman yang berbeda di lahannya untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan menghindari kelelahan tanah. Dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada, masyarakat Mesir Kuno berhasil menciptakan sistem pertanian yang dapat mendukung kehidupannya dalam jangka panjang.

b. Peradaban Cina (2000 SM)

Pada sekitar 2000 SM, peradaban Cina mulai mengembangkan praktik pertanian yang berfokus pada keberlanjutan dan efisiensi. Salah satu inovasi utama dalam pertanian Cina kuno adalah penggunaan rotasi tanaman, yang diterapkan untuk menjaga kesuburan tanah dan mengurangi kelelahan tanah. Sistem rotasi ini melibatkan penanaman berbagai jenis tanaman secara bergantian pada lahan yang sama, untuk menghindari pengambilan unsur hara yang berlebihan dari tanah. Selain itu, rotasi tanaman juga membantu mengurangi risiko serangan hama dan penyakit, yang seringkali lebih menyukai satu jenis tanaman tertentu.

Masyarakat Cina kuno juga mengembangkan metode penggunaan pupuk organik, terutama kotoran hewan, untuk memperbaiki kesuburan tanah. Pupuk ini memberikan nutrisi penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Dengan memanfaatkan bahan alami seperti kotoran hewan, pertanian Cina mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis yang berpotensi merusak ekosistem. Penggunaan pupuk organik juga meningkatkan struktur tanah, membuatnya lebih subur dan mampu menyimpan air dengan lebih baik, yang sangat penting dalam iklim yang sering kali mengalami kekeringan.

Kombinasi antara rotasi tanaman dan penggunaan pupuk organik menjadi dasar bagi pertanian berkelanjutan yang diaplikasikan dalam peradaban Cina. Metode-metode ini tidak hanya menjaga kualitas tanah tetapi juga memastikan hasil pertanian yang konsisten dan tahan lama. Dengan praktik-praktik ini, para petani Cina kuno berhasil memaksimalkan hasil tanpa merusak lingkungan, sebuah prinsip yang masih relevan dalam pertanian modern.

2. Revolusi Pertanian dan Dampaknya

Perkembangan teknologi pertanian di abad ke-18 hingga ke-20 membawa perubahan besar, tetapi juga menimbulkan tantangan terhadap keberlanjutan.

a. Revolusi Pertanian Pertama (1700-an)

Revolusi Pertanian Pertama, yang terjadi pada abad ke-17 dan ke-18 di Eropa, mengubah cara pertanian dilakukan dengan pengenalan alat-alat baru dan metode pertanian yang lebih efisien. Salah satu inovasi penting adalah penggunaan bajak besi yang lebih efektif dalam menggemburkan tanah, meningkatkan produktivitas pertanian. Selain itu, sistem rotasi tanaman empat bidang (four-field crop rotation) diperkenalkan, yang memungkinkan pengolahan tanah yang lebih berkelanjutan. Dalam sistem ini, satu bidang ditanami gandum atau biji-bijian lainnya, sementara satu lagi untuk tanaman penutup atau tanaman yang memperbaiki nitrogen, seperti legum. Hal ini memungkinkan tanah untuk tetap subur tanpa memberi waktu bagi tanah untuk mengalami kerusakan besar akibat kelelahan. Penerapan rotasi tanaman ini juga mengurangi ketergantungan pada tanah yang sama dengan satu jenis tanaman, membantu mengurangi risiko hama dan penyakit tanaman. Meskipun awalnya membawa dampak positif terhadap hasil pertanian dan meningkatkan kapasitas pangan di Eropa, sistem ini juga mulai memberikan tekanan pada ekosistem tanah. Tanah yang semakin diolah dengan intensif untuk menambah hasil pertanian cenderung kehilangan unsur hara, yang pada akhirnya dapat mengurangi keberagaman hayati dan memperburuk kualitas tanah dalam jangka panjang.

Alat-alat pertanian baru dan metode yang lebih efisien ini meningkatkan skala produksi namun sering mengabaikan aspek keberlanjutan lingkungan. Penggunaan metode pertanian intensif yang melibatkan penggunaan lahan dalam jangka panjang tanpa pengelolaan ekosistem yang cukup dapat menurunkan keanekaragaman hayati. Hal ini disebabkan oleh pengurangan area hutan dan habitat alami yang digantikan oleh lahan pertanian monokultur. Akibatnya, spesies flora dan fauna lokal terganggu, yang membawa dampak lebih lanjut terhadap keseimbangan alam.

b. Revolusi Industri dan Mekanisasi Pertanian (1800-an)

Revolusi Industri pada abad ke-19 membawa perubahan besar dalam cara pertanian dilakukan, dengan pengenalan mesin-mesin berat seperti traktor dan peralatan lainnya yang menggantikan

tenaga manusia dan hewan. Traktor, misalnya, memungkinkan petani untuk mengolah lahan dalam jumlah yang lebih besar dan dengan kecepatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan sebelumnya. Teknologi ini juga membuka jalan bagi mekanisasi dalam proses penanaman, pemupukan, dan panen, yang secara signifikan meningkatkan hasil pertanian. Mesin-mesin ini memungkinkan pertanian untuk lebih efisien dan meningkatkan kapasitas produksi pangan, terutama untuk memenuhi kebutuhan populasi yang terus berkembang.

Meskipun mekanisasi pertanian membawa manfaat besar dalam hal peningkatan produksi, ia juga menyebabkan dampak lingkungan yang serius. Salah satu dampak terbesar adalah degradasi tanah. Penggunaan mesin berat, seperti traktor, dapat merusak struktur tanah, menyebabkan kompaksi tanah yang menghambat pergerakan air dan udara ke dalam tanah. Kompaksi tanah mengurangi kapasitas tanah untuk menyerap air, meningkatkan risiko erosi, dan merusak kesuburan tanah dalam jangka panjang. Selain itu, proses mekanisasi yang lebih intensif sering kali melibatkan pengolahan tanah yang lebih sering dan lebih dalam, yang semakin memperburuk kualitas tanah.

Pengenalan bahan kimia pertanian, seperti pestisida dan pupuk sintetis, yang diproduksi dalam jumlah besar selama Revolusi Industri, mempercepat transformasi pertanian. Meskipun bahan kimia ini meningkatkan hasil tanaman dalam jangka pendek, menyebabkan pencemaran air dan tanah. Penggunaan pestisida yang berlebihan tidak hanya mengancam kualitas tanah, tetapi juga mengurangi keanekaragaman hayati, mempengaruhi organisme non-target, dan mencemari sumber daya air yang penting bagi ekosistem dan manusia.

c. Revolusi Hijau (1960-1970-an)

Revolusi Hijau, yang dimulai pada 1960-an dan dipelopori oleh Norman Borlaug, bertujuan untuk meningkatkan hasil panen melalui penggunaan benih hibrida, pupuk sintetis, dan pestisida. Pendekatan ini berhasil mengatasi kelaparan yang melanda banyak negara berkembang, khususnya di Asia dan Afrika, dengan meningkatkan hasil pertanian secara drastis. Benih hibrida yang diciptakan khusus untuk menghasilkan lebih banyak biji per tanaman, dikombinasikan dengan penggunaan pupuk

kimia dan pestisida yang lebih efektif, memungkinkan petani untuk meningkatkan produksi pangan dengan cepat. Hal ini sangat penting pada saat itu, ketika pertumbuhan populasi yang pesat mengancam ketahanan pangan global.

Meskipun berhasil meningkatkan hasil pertanian, Revolusi Hijau juga menimbulkan sejumlah masalah lingkungan yang serius. Salah satunya adalah penggunaan air yang tidak efisien. Untuk mendukung penggunaan benih hibrida yang lebih produktif, banyak petani menggunakan irigasi yang intensif, yang menyebabkan penurunan tingkat air tanah dan peningkatan risiko kekeringan di beberapa wilayah. Di banyak tempat, pertanian yang sangat bergantung pada irigasi mulai mempengaruhi sumber daya air secara negatif, menciptakan ketegangan antara kebutuhan pertanian dan pasokan air untuk kebutuhan lain.

Penggunaan pestisida dan pupuk kimia yang berlebihan dalam Revolusi Hijau mengarah pada penurunan kualitas tanah dan pencemaran lingkungan. Pestisida yang digunakan untuk mengendalikan hama sering kali tidak selektif, membunuh organisme yang tidak diinginkan tetapi juga merusak keanekaragaman hayati. Hal ini menyebabkan penurunan jumlah spesies yang mendukung kesehatan ekosistem pertanian, seperti serangga penyerbuk dan predator alami hama. Keberagaman hayati yang hilang ini mengurangi daya tahan ekosistem terhadap perubahan lingkungan dan meningkatkan kerentanannya terhadap penyakit.

3. Kebangkitan Konsep Pertanian Berkelanjutan (1980-an)

Istilah "pertanian berkelanjutan" mulai populer pada dekade 1980-an seiring dengan meningkatnya kesadaran global terhadap dampak negatif pertanian intensif.

a. Laporan Brundtland dan Agenda Keberlanjutan

Laporan Brundtland yang diterbitkan pada tahun 1987 dalam dokumen *Our Common Future* adalah titik awal bagi penerapan prinsip keberlanjutan dalam berbagai sektor, termasuk pertanian. Komisi Brundtland, yang dipimpin oleh Gro Harlem Brundtland, mendefinisikan keberlanjutan sebagai "kemampuan untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan." Konsep ini

mengintegrasikan tiga dimensi penting: keberlanjutan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Definisi ini memberikan landasan teoritis yang kuat untuk mengevaluasi dan merancang kebijakan yang memperhatikan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan pelestarian lingkungan hidup, yang juga relevan dalam konteks pertanian.

Pada sektor pertanian, prinsip keberlanjutan yang diperkenalkan dalam Laporan Brundtland menekankan pentingnya produksi pangan yang tidak hanya meningkatkan hasil tetapi juga memperhatikan kelestarian tanah, air, dan sumber daya alam lainnya. Pertanian berkelanjutan harus melibatkan teknik-teknik yang mengurangi ketergantungan pada input eksternal seperti pestisida dan pupuk kimia, serta mengintegrasikan praktik-praktik yang mendukung keanekaragaman hayati dan kualitas tanah. Dengan demikian, laporan ini mengajak negara-negara untuk merancang kebijakan pertanian yang lebih ramah lingkungan dan mengutamakan kesejahteraan petani serta komunitas pedesaan secara holistik.

b. Deklarasi Rio de Janeiro (1992)

Deklarasi Rio de Janeiro yang dihasilkan pada Konferensi Lingkungan dan Pembangunan PBB (*United Nations Conference on Environment and Development*, UNCED) pada tahun 1992, menandai sebuah tonggak penting dalam pengakuan global terhadap pentingnya keberlanjutan dalam pembangunan, termasuk di sektor pertanian. Deklarasi ini menekankan pentingnya melindungi sumber daya alam sebagai tanggung jawab bersama untuk memastikan bahwa generasi mendatang dapat menikmati kekayaan alam yang sama, bahkan lebih baik, dibandingkan generasi saat ini. Dalam hal ini, sektor pertanian menjadi fokus penting karena pengelolaannya yang langsung terkait dengan keberlanjutan ekosistem dan ketahanan pangan global.

Konferensi Rio juga menghasilkan Agenda 21, sebuah dokumen yang berisi pedoman tentang bagaimana negara-negara dapat merancang kebijakan pembangunan yang ramah lingkungan, termasuk di dalamnya sektor pertanian. Salah satu prinsip utama dari Agenda 21 adalah bahwa pertanian harus berorientasi pada keberlanjutan jangka panjang yang tidak hanya mengutamakan

hasil produk, tetapi juga menjaga kelestarian tanah, air, dan keanekaragaman hayati. Penerapan pertanian berkelanjutan diharapkan dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, sekaligus meningkatkan ketahanan pangan dan kesejahteraan petani, terutama di negara-negara berkembang yang bergantung pada pertanian sebagai mata pencaharian utama.

c. **Kemunculan Agroekologi**

Kemunculan agroekologi sebagai pendekatan untuk mendukung pertanian berkelanjutan terjadi pada saat masyarakat mulai menyadari bahwa sistem pertanian konvensional yang berorientasi pada peningkatan hasil secara intensif seringkali menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan. Agroekologi, seperti yang dijelaskan oleh Altieri (2018), mengintegrasikan prinsip-prinsip ekologi dalam praktik pertanian dengan cara yang memperhatikan keseimbangan ekosistem. Pendekatan ini menekankan pentingnya keberagaman hayati, siklus nutrisi alami, dan pengelolaan tanah yang ramah lingkungan, dengan tujuan menciptakan sistem pertanian yang dapat bertahan dalam jangka panjang tanpa merusak sumber daya alam.

Agroekologi mendukung ide bahwa pertanian harus lebih dari sekadar produksi pangan. Sistem pertanian berbasis agroekologi mengutamakan aspek sosial dan ekonomi dengan melibatkan petani lokal dalam pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Agroekologi mengakui pentingnya pengetahuan lokal dan praktik-praktik tradisional yang telah terbukti efektif dalam menjaga keseimbangan alam dan meningkatkan ketahanan pangan.

4. Perkembangan Pertanian Berkelanjutan

Pada dekade terakhir, pertanian berkelanjutan telah berkembang pesat karena dorongan dari berbagai lembaga internasional, penelitian ilmiah, dan kebijakan pemerintah.

a. **Inisiatif Global**

Pertanian berkelanjutan menjadi fokus utama dalam upaya global untuk menciptakan masa depan yang lebih baik bagi masyarakat dan planet ini, dan hal ini tercermin dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) yang dicanangkan oleh Perserikatan

Bangsa-Bangsa (PBB). SDG 2 menargetkan untuk mengakhiri kelaparan, meningkatkan ketahanan pangan, serta mendukung pertanian berkelanjutan yang dapat mendukung kebutuhan pangan dunia tanpa merusak lingkungan. Dalam hal ini, pertanian berkelanjutan melibatkan penggunaan praktik yang tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga memperhatikan keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan sumber daya alam, termasuk tanah, air, dan biodiversitas.

Gambar 2. *Sustainable Development Goals*



Sumber: *Paper Wise*

Perjanjian internasional lain yang berperan penting dalam memajukan pertanian berkelanjutan adalah Perjanjian Paris (2015). Perjanjian ini menetapkan komitmen global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dengan tujuan utama untuk menahan laju pemanasan global di bawah 2°C. Dalam konteks pertanian, Perjanjian Paris mendorong negara-negara untuk mengadopsi praktik pertanian yang ramah lingkungan, seperti agroforestri dan penggunaan teknologi rendah emisi. Praktik agroforestri, yang menggabungkan penanaman pohon dengan tanaman pangan, tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan pangan, tetapi juga membantu mitigasi perubahan iklim dengan menyerap karbon dari atmosfer.

b. **Kemajuan Teknologi Pertanian**

Kemajuan teknologi pertanian telah berperan kunci dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan produksi pangan. Salah satu inovasi utama adalah precision agriculture, yang mengandalkan teknologi untuk mengelola dan memantau sumber daya alam secara lebih akurat. Teknologi ini menggunakan

sensor digital, drone, dan perangkat lunak untuk memantau variabel seperti kelembaban tanah, suhu, dan kesehatan tanaman. Dengan data yang lebih terperinci dan real-time, petani dapat mengambil keputusan yang lebih tepat mengenai kapan dan di mana harus mengaplikasikan air, pupuk, dan pestisida, sehingga mengurangi pemborosan sumber daya dan dampak lingkungan (Basso & Antle, 2020).

Teknologi sensor digital memungkinkan pengukuran yang lebih akurat terkait kondisi tanah dan tanaman, mengurangi ketergantungan pada metode pengolahan tradisional yang dapat merusak lingkungan. Misalnya, sensor kelembaban tanah dapat memberikan informasi tentang kapan tanah membutuhkan irigasi, mencegah penggunaan air yang berlebihan. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan air dan nutrisi tetapi juga berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan polusi tanah.

C. Tujuan dan Manfaat Keberlanjutan Pertanian

Keberlanjutan pertanian tidak hanya berfokus pada peningkatan hasil panen, tetapi juga bertujuan untuk menjaga keseimbangan ekosistem, memastikan kesejahteraan sosial, dan meningkatkan ketahanan ekonomi dalam jangka panjang. Pertanian berkelanjutan mencakup prinsip-prinsip yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan, mendukung ketahanan pangan, serta memberikan manfaat ekonomi dan sosial yang adil bagi masyarakat.

1. Tujuan Keberlanjutan Pertanian

Tujuan utama dari keberlanjutan pertanian adalah untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan manusia akan pangan dan pelestarian sumber daya alam yang esensial bagi kehidupan di masa depan.

a. Meningkatkan Ketahanan Pangan dan Gizi

Tujuan utama keberlanjutan pertanian adalah untuk meningkatkan ketahanan pangan dan gizi global dengan cara yang ramah lingkungan dan efisien. Seiring dengan pertumbuhan populasi dunia, kebutuhan pangan semakin meningkat. Oleh karena itu, sistem pertanian harus dapat menghasilkan lebih

banyak produk pangan tanpa merusak ekosistem yang ada. Pendekatan ini mencakup peningkatan hasil pertanian melalui teknik yang ramah lingkungan, seperti penggunaan pupuk organik dan sistem rotasi tanaman, serta mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis yang dapat merusak tanah dan kualitas air. Upaya ini tidak hanya bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pangan, tetapi juga untuk menjaga kualitas gizi yang diperlukan oleh konsumen di seluruh dunia (Nguyen, 2018).

Keberlanjutan pertanian juga berfokus pada pengurangan pemborosan dan kerugian pangan. Menurut FAO, sekitar satu pertiga dari makanan yang diproduksi di seluruh dunia hilang atau terbuang, yang berkontribusi pada kelaparan dan ketidakamanan pangan. Oleh karena itu, sistem pertanian yang berkelanjutan berupaya mengurangi pemborosan ini melalui peningkatan infrastruktur penyimpanan dan distribusi yang lebih baik, serta dengan mengedukasi konsumen tentang cara-cara untuk mengurangi pemborosan makanan. Hal ini penting untuk memastikan bahwa pangan yang dihasilkan dapat dinikmati oleh lebih banyak orang, termasuk yang berada di wilayah yang rentan terhadap kelaparan.

b. Pelestarian Sumber Daya Alam

Pelestarian sumber daya alam merupakan salah satu tujuan utama dalam pertanian berkelanjutan. Aktivitas pertanian yang intensif, seperti pembukaan lahan dengan cara pembakaran hutan dan penggunaan bahan kimia secara berlebihan, sering kali menyebabkan degradasi tanah dan penurunan kualitas air. Erosi tanah yang disebabkan oleh pengolahan tanah yang tidak tepat dapat mengurangi kesuburan tanah dan menyebabkan hilangnya lapisan tanah yang subur. Selain itu, penggunaan pestisida dan pupuk kimia yang berlebihan juga berisiko mencemari sumber daya air dan mengurangi kualitas ekosistem perairan. Oleh karena itu, keberlanjutan pertanian berfokus pada praktik yang mengurangi kerusakan lingkungan ini, seperti penggunaan teknik konservasi tanah, rotasi tanaman, dan pemupukan organik yang lebih ramah lingkungan.

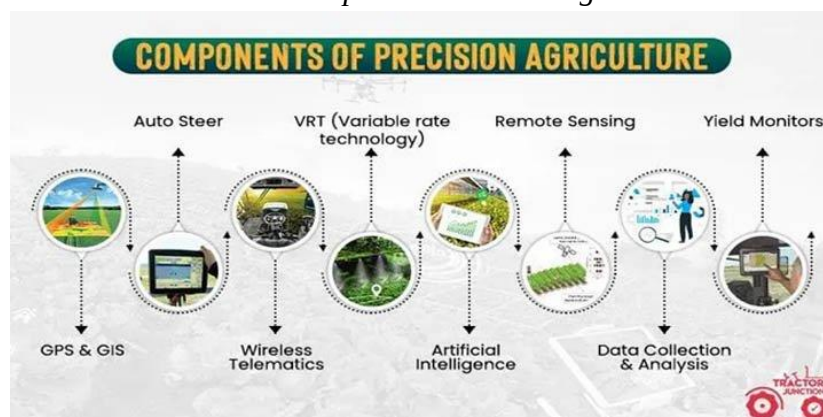
Pelestarian keanekaragaman hayati juga merupakan bagian penting dari keberlanjutan pertanian. Konversi lahan untuk

pertanian yang tidak berkelanjutan sering mengancam keanekaragaman hayati dengan menghilangkan habitat alami bagi berbagai spesies tumbuhan dan hewan. Kehilangan keanekaragaman hayati ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem, yang pada gilirannya mempengaruhi ketahanan pangan dan kesehatan ekosistem secara keseluruhan.

c. Meningkatkan Ketahanan Terhadap Perubahan Iklim

Meningkatkan ketahanan pertanian terhadap perubahan iklim adalah salah satu tujuan penting dalam keberlanjutan pertanian. Dengan meningkatnya frekuensi dan intensitas perubahan iklim, seperti kekeringan, banjir, dan suhu ekstrem, sektor pertanian menjadi sangat rentan terhadap dampaknya. Oleh karena itu, penting untuk mengadopsi teknologi pertanian yang dapat mengurangi dampak perubahan iklim, seperti penggunaan sistem irigasi yang efisien, pemilihan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi ekstrem, serta penerapan praktik pertanian yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Teknologi seperti precision agriculture, yang menggunakan sensor digital dan analitik untuk memaksimalkan penggunaan sumber daya, dapat membantu petani mengelola dampak perubahan iklim dengan lebih efisien (Vermeulen *et al.*, 2012).

Gambar 3. *Componen Precision Agriculture*



Sumber: *Current Affairs* | Vajirao & Reddy

Penerapan sistem pertanian yang adaptif menjadi kunci dalam menghadapi tantangan perubahan iklim. Praktik-praktik seperti rotasi tanaman, agroforestri, dan pengelolaan sumber daya alam yang berbasis ekologi dapat membantu meningkatkan ketahanan

tanah dan tanaman terhadap kondisi cuaca ekstrem. Pendekatan ini juga memungkinkan petani untuk mengurangi ketergantungan pada input eksternal, seperti pupuk dan pestisida kimia, yang dapat berisiko tinggi terhadap perubahan iklim. Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip keberlanjutan dalam sistem pertanian, diharapkan dapat tercipta ketahanan jangka panjang terhadap dampak iklim yang semakin tidak dapat diprediksi.

2. Manfaat Keberlanjutan Pertanian

Keberlanjutan pertanian memberikan sejumlah manfaat yang tidak hanya terbatas pada sektor pertanian, tetapi juga mencakup aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan yang lebih luas.

a. Manfaat Lingkungan

Pertanian berkelanjutan memiliki sejumlah manfaat lingkungan yang signifikan, terutama dalam pengelolaan sumber daya alam secara efisien. Praktik-praktik seperti rotasi tanaman, agroforestri, dan irigasi hemat air berfokus pada penggunaan sumber daya yang lebih bijaksana, sehingga dapat mengurangi tekanan terhadap tanah dan air. Misalnya, rotasi tanaman tidak hanya memperbaiki kualitas tanah dengan mengurangi kelelahan tanah, tetapi juga mengurangi kebutuhan akan pupuk sintesis dan pestisida (Lal, 2020). Agroforestri, di sisi lain, mengintegrasikan pohon dengan tanaman pertanian, yang dapat meningkatkan penyerapan air dan mengurangi erosi tanah, serta meningkatkan keanekaragaman hayati di lahan pertanian.

Pertanian berkelanjutan juga berperan penting dalam pelestarian keanekaragaman hayati. Praktik pertanian yang berkelanjutan, seperti penanaman berbagai jenis tanaman dan perlindungan habitat alami, dapat membantu melindungi spesies flora dan fauna yang terancam punah. Keanekaragaman hayati yang terpelihara dengan baik mendukung fungsi ekosistem, termasuk penyerbukan tanaman dan kontrol alami terhadap hama. Dengan demikian, pertanian yang berkelanjutan tidak hanya menguntungkan petani, tetapi juga mempromosikan kesehatan ekosistem yang lebih luas.

b. Manfaat Ekonomi

Keberlanjutan pertanian memberikan manfaat ekonomi yang signifikan, salah satunya adalah pengurangan biaya produksi.

Dengan mengadopsi praktik pertanian yang lebih efisien, seperti penggunaan teknologi ramah lingkungan dan sistem pertanian yang berbasis ekologi, petani dapat mengurangi ketergantungan pada input luar seperti pupuk sintetis dan pestisida (Altieri, 2018). Pengelolaan yang lebih baik terhadap sumber daya alam, seperti tanah dan air, memungkinkan petani untuk mempertahankan hasil yang optimal tanpa harus mengeluarkan biaya besar untuk perawatan atau perbaikan lingkungan. Hal ini berkontribusi pada peningkatan pendapatan petani, terutama dalam jangka panjang.

Sistem pertanian berkelanjutan memberikan peluang bagi petani untuk melakukan diversifikasi usahanya. Integrasi kegiatan seperti peternakan atau budidaya tanaman non-pangan dapat meningkatkan keberagaman pendapatan dan mengurangi ketergantungan pada satu jenis komoditas. Diversifikasi ini membantu petani untuk lebih tahan terhadap fluktuasi harga pasar yang sering kali terjadi pada komoditas tertentu, seperti padi atau jagung, sehingga stabilitas ekonominya dapat lebih terjaga. Pendekatan ini juga mendorong keberlanjutan jangka panjang dengan menciptakan sistem pertanian yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap perubahan pasar.

c. Manfaat Sosial

Keberlanjutan pertanian memberikan manfaat sosial yang sangat penting bagi petani dan pekerja pertanian. Salah satu manfaat utamanya adalah terciptanya peluang kerja yang lebih baik dan lebih stabil, yang berdampak positif pada kualitas hidup. Dengan sistem pertanian yang lebih efisien dan berbasis ekologi, petani dapat mengurangi ketergantungan pada input eksternal yang mahal dan meningkatkan akses terhadap pendidikan serta pelatihan dalam bidang pertanian. Pendidikan ini memberikan keterampilan yang diperlukan untuk mengelola usaha pertanian secara lebih produktif dan ramah lingkungan, memperkuat kapasitas petani dalam menghadapi tantangan pertanian modern (Bélanger & Pilling, 2019).

Pertanian berkelanjutan dapat memperkuat kemandirian komunitas petani, dengan mendorong pemberdayaan sosial dan ekonomi. Melalui pendekatan berbasis koperasi, petani dapat saling mendukung dalam pengelolaan sumber daya dan

pemasaran produknya. Koperasi ini tidak hanya memberikan akses yang lebih baik ke sumber daya seperti pembiayaan dan teknologi, tetapi juga memperkuat jaringan sosial di antara petani. Dengan cara ini, petani dapat meningkatkan posisi tawar di pasar dan mencapai kesuksesan ekonomi yang lebih berkelanjutan, yang pada gilirannya meningkatkan kemandirian dalam menghadapi krisis ekonomi atau perubahan pasar.

D. Pilar-pilar Keberlanjutan (Ekonomi, Sosial, dan Lingkungan)

Keberlanjutan merupakan konsep holistik yang didasarkan pada tiga pilar utama: ekonomi, sosial, dan lingkungan. Ketiga pilar ini saling terkait dan saling mendukung untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan. Dalam konteks pertanian berkelanjutan, penerapan ketiga pilar tersebut bertujuan untuk menciptakan sistem yang tangguh, adil, dan ramah lingkungan sehingga mampu memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan sendiri.

1. Pilar Ekonomi

Pilar ekonomi keberlanjutan mencakup efisiensi penggunaan sumber daya dan peningkatan keuntungan jangka panjang melalui praktik-praktik yang ramah lingkungan. Dalam sektor pertanian, pilar ini berfokus pada menciptakan sistem ekonomi yang stabil dan menguntungkan bagi semua pihak yang terlibat, terutama petani kecil dan komunitas lokal.

a. Efisiensi Ekonomi

Efisiensi ekonomi dalam sektor pertanian bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang terbatas, seperti tanah, air, dan energi, untuk memaksimalkan hasil produksi tanpa meningkatkan biaya secara berlebihan. Dalam konteks pertanian, efisiensi ini tercapai melalui teknik-teknik yang lebih cermat dalam pemanfaatan input, seperti pupuk, pestisida, dan air. Penggunaan bahan kimia dan air yang lebih hemat dapat mengurangi biaya produksi sekaligus meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan (Lal, 2020). Dalam praktiknya, efisiensi ekonomi berfokus pada pencapaian hasil yang optimal dengan meminimalkan pemborosan sumber daya, sehingga dapat

meningkatkan profitabilitas dan keberlanjutan dalam jangka panjang.

Salah satu contoh penerapan efisiensi ekonomi dalam pertanian adalah teknologi pertanian presisi. Teknologi ini menggunakan sensor, data analitik, dan sistem pemantauan untuk menentukan secara tepat kapan dan di mana input seperti pupuk atau air dibutuhkan. Hal ini memungkinkan petani untuk menghindari penggunaan berlebihan yang tidak hanya menghemat biaya, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan yang berpotensi merusak. Teknologi pertanian presisi tidak hanya meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga memungkinkan pengelolaan yang lebih bijaksana terhadap sumber daya alam, yang semakin terbatas seiring waktu.

b. Ketahanan Ekonomi Petani

Ketahanan ekonomi petani merupakan salah satu tujuan utama dari keberlanjutan pertanian. Mengurangi ketergantungan petani pada subsidi pemerintah adalah langkah penting dalam menciptakan kemandirian ekonomi. Petani yang bergantung pada subsidi sering kali menghadapi ketidakpastian pendapatan dan keterbatasan dalam perencanaan jangka panjang. Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan pendapatan petani dengan cara yang lebih berkelanjutan, seperti dengan mengoptimalkan hasil pertanian melalui teknik pertanian presisi atau pemanfaatan teknologi, sangat penting. Hal ini dapat mengurangi ketergantungan pada bantuan luar dan meningkatkan kemampuan petani untuk merencanakan dan mengelola usahanya secara mandiri (Altieri, 2018).

Diversifikasi sumber pendapatan petani menjadi kunci dalam memperkuat ketahanan ekonomi. Mengembangkan kegiatan tambahan, seperti agrowisata atau produksi bioenergi, memberikan petani kesempatan untuk memperoleh pendapatan dari sektor lain selain pertanian pangan. Agrowisata, misalnya, memungkinkan petani untuk memanfaatkan sumber daya alam dalam bentuk wisata edukasi atau rekreasi yang berkaitan dengan alam, yang semakin diminati oleh wisatawan. Begitu pula dengan bioenergi, di mana petani dapat memanfaatkan limbah pertanian untuk menghasilkan energi terbarukan yang dapat dijual,

sehingga menciptakan sumber pendapatan alternatif yang dapat meningkatkan stabilitas ekonomi keluarga petani.

c. Kontribusi terhadap Ekonomi Lokal

Sistem pertanian berkelanjutan memiliki potensi besar dalam memicu pertumbuhan ekonomi lokal. Dengan fokus pada pengelolaan sumber daya yang efisien dan berkelanjutan, sistem ini menciptakan peluang pekerjaan di sektor pertanian dan industri terkait. Lapangan kerja ini mencakup petani, pekerja di sektor pengolahan, serta yang terlibat dalam distribusi dan pemasaran produk pertanian. Selain itu, dengan menggunakan teknologi pertanian yang ramah lingkungan dan efisien, petani dapat meningkatkan produktivitas, yang berkontribusi pada peningkatan pendapatan di tingkat lokal (Pretty *et al.*, 2018).

Pertanian berkelanjutan juga meningkatkan daya saing produk lokal di pasar global. Melalui teknik pertanian yang ramah lingkungan dan mengutamakan keberlanjutan, produk pertanian lokal dapat memenuhi standar internasional yang semakin ketat terkait dengan keberlanjutan dan kualitas produk. Produk yang dihasilkan dengan cara berkelanjutan sering kali dihargai lebih tinggi di pasar global, meningkatkan peluang ekspor dan mengurangi ketergantungan pada pasar domestik. Misalnya, komoditas pertanian yang diproduksi dengan standar organik atau yang menggunakan sistem pertanian berbasis ekologi dapat menarik pasar yang lebih luas di luar negeri, dengan konsumennya yang semakin sadar akan pentingnya keberlanjutan.

2. Pilar Sosial

Pilar sosial keberlanjutan menitikberatkan pada keadilan, inklusi, dan kesejahteraan masyarakat. Dalam konteks pertanian, ini mencakup pemberdayaan petani, pelibatan masyarakat lokal, dan peningkatan akses terhadap pendidikan serta teknologi.

a. Pemberdayaan Masyarakat Lokal

Pertanian berkelanjutan dapat memberdayakan masyarakat lokal dengan meningkatkan kemampuan dalam mengelola sumber daya alam secara lebih efisien. Melalui pelatihan yang berfokus pada teknik pertanian yang ramah lingkungan, komunitas dapat

memperoleh pengetahuan dan keterampilan baru yang membantunya mengelola lahan dan sumber daya secara lebih berkelanjutan. Selain itu, akses terhadap informasi yang relevan mengenai pasar, teknologi pertanian, serta kebijakan pemerintah dapat memperkuat posisinya dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat dan efektif. Inisiatif pemberdayaan semacam ini berkontribusi pada kemandirian masyarakat, yang memungkinkan mengelola dan memanfaatkan sumber daya untuk meningkatkan kesejahteraan secara berkelanjutan.

Teknologi yang relevan juga berperan penting dalam pemberdayaan masyarakat lokal. Akses terhadap teknologi pertanian modern, seperti sistem irigasi hemat air atau perangkat untuk pemantauan kondisi tanah, memungkinkan petani untuk meningkatkan produktivitas tanpa merusak lingkungan. Dengan penggunaan teknologi ini, petani dapat memperoleh hasil yang lebih baik dengan biaya yang lebih rendah, meningkatkan ketahanan terhadap fluktuasi pasar dan perubahan iklim. Hal ini juga memberikan kesempatan bagi petani untuk mendiversifikasi usahanya, seperti mengembangkan produk olahan atau merambah pasar baru yang lebih luas.

b. Kesejahteraan Sosial

Sistem pertanian berkelanjutan berkontribusi pada kesejahteraan sosial dengan menciptakan lingkungan kerja yang lebih adil dan inklusif bagi petani dan pekerja pertanian. Dengan mengadopsi prinsip-prinsip keberlanjutan, sektor pertanian dapat mengurangi ketimpangan sosial, menghindari eksploitasi, dan meningkatkan kondisi kerja. Petani yang terlibat dalam sistem pertanian berkelanjutan sering kali lebih mandiri, karena memiliki kontrol lebih besar terhadap praktik dan sumber daya. Hal ini menciptakan hubungan yang lebih setara antara pekerja dan pemberi kerja, yang pada gilirannya mendukung masyarakat yang lebih adil dan stabil secara sosial.

Keberlanjutan pertanian juga berperan penting dalam pengurangan kemiskinan. Dengan menciptakan lapangan pekerjaan yang stabil dan meningkatkan pendapatan melalui praktik pertanian yang lebih efisien, masyarakat yang sebelumnya terpinggirkan dapat memperoleh manfaat ekonomi yang lebih besar. Pemberdayaan petani melalui pendidikan dan

pelatihan teknis tentang pertanian berkelanjutan memungkinkan untuk mengelola sumber daya alam dengan cara yang lebih efektif, mengurangi kerentanannya terhadap fluktuasi pasar, dan memperbaiki kualitas hidup. Ini mengarah pada peningkatan pendapatan yang lebih stabil dan berkelanjutan, yang berkontribusi pada pengurangan kemiskinan di tingkat lokal dan nasional.

c. Keberagaman dan Keadilan Gender

Keberagaman dan keadilan gender dalam sektor pertanian berkelanjutan sangat penting untuk menciptakan masyarakat yang lebih adil dan sejahtera. Perempuan berperan vital dalam produksi pertanian di banyak negara, baik dalam mengelola ladang, merawat ternak, maupun dalam pengelolaan hasil pertanian. Namun, sering kali menghadapi hambatan dalam mengakses sumber daya penting, seperti modal, pelatihan, dan teknologi yang dibutuhkan untuk meningkatkan produktivitas. Oleh karena itu, untuk mencapai keberlanjutan sosial dalam pertanian, penting untuk memastikan bahwa perempuan memiliki akses yang setara terhadap sumber daya ini dan dapat berpartisipasi dalam pengambilan keputusan terkait pertanian (Pretty *et al.*, 2018).

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan keadilan gender adalah dengan menyediakan pendidikan dan pelatihan yang dapat meningkatkan keterampilan perempuan dalam bidang pertanian. Program-program pelatihan yang dirancang untuk perempuan, yang melibatkan keterampilan teknis dan manajerial, dapat membantunya untuk mengoptimalkan sumber daya pertanian dan mengelola usahanya dengan lebih efisien. Selain itu, pendidikan ini juga meningkatkan posisi tawar perempuan dalam pengambilan keputusan di tingkat keluarga dan komunitas, memperkuat perannya dalam pembangunan ekonomi dan sosial.

3. Pilar Lingkungan

Pilar lingkungan menitikberatkan pada pelestarian sumber daya alam, pengurangan dampak negatif terhadap ekosistem, dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Dalam pertanian, ini mencakup penerapan praktik yang menjaga keseimbangan ekosistem dan memitigasi perubahan iklim.

a. Pelestarian Sumber Daya Alam

Pelestarian sumber daya alam adalah inti dari pertanian berkelanjutan yang bertujuan untuk menjaga ekosistem dan memastikan keberlanjutan produksi pangan dalam jangka panjang. Tanah, air, dan udara merupakan tiga elemen vital yang harus dikelola dengan hati-hati. Salah satu cara untuk menjaga kualitas tanah adalah dengan menggunakan pupuk organik yang tidak hanya meningkatkan kesuburan tanah, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sintetis yang dapat mencemari lingkungan dan menurunkan kualitas tanah dalam jangka panjang (Lal, 2020). Selain itu, teknik konservasi tanah, seperti penanaman penutup tanah atau terasering, juga penting untuk mencegah erosi dan menjaga kelembapan tanah, yang sangat penting di daerah-daerah yang rawan kekeringan.

Gambar 4. *Terasering*



Sumber: *Kompas Money*

Pengelolaan air juga merupakan aspek penting dalam pelestarian sumber daya alam. Teknik irigasi hemat air, seperti irigasi tetes, dapat mengurangi pemborosan air dan memastikan distribusi yang lebih merata, bahkan di daerah-daerah yang memiliki keterbatasan sumber daya air. Pengelolaan hama terpadu (IPM) yang menggabungkan penggunaan pestisida alami dan teknik mekanis, seperti perangkap atau rotasi tanaman, juga berperan dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini

membantu mempertahankan keseimbangan ekosistem, mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya, dan mendorong keberagaman hayati yang lebih tinggi.

b. Pengurangan Jejak Ekologis

Pengurangan jejak ekologis dalam pertanian berkelanjutan berfokus pada pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama yang dihasilkan dari penggunaan bahan kimia sintetis dan energi fosil. Salah satu langkah utama dalam mengurangi jejak ekologis adalah mengurangi ketergantungan pada pestisida dan pupuk kimia. Penggunaan pestisida organik dan teknik pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan, seperti pengendalian hama terintegrasi (IPM), dapat mengurangi kontaminasi tanah dan air yang sering terjadi akibat penggunaan bahan kimia berbahaya (Smith *et al.*, 2014). Dengan mengurangi penggunaan bahan kimia, kualitas tanah dan ekosistem alami yang bergantung pada keseimbangan ini dapat dipertahankan.

Pengurangan jejak karbon di sektor pertanian dapat dicapai dengan beralih dari penggunaan energi fosil yang tinggi, seperti bahan bakar untuk traktor dan mesin pertanian, ke sumber energi terbarukan. Penggunaan energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, dapat membantu menurunkan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sektor pertanian. Sistem pertanian yang lebih efisien, termasuk penggunaan teknologi pertanian presisi, juga dapat mengurangi penggunaan energi dan bahan bakar, mengarah pada pengurangan jejak karbon yang signifikan.

c. Mitigasi dan Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

Pengurangan jejak ekologis dalam pertanian berkelanjutan berfokus pada pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama yang dihasilkan dari penggunaan bahan kimia sintetis dan energi fosil. Salah satu langkah utama dalam mengurangi jejak ekologis adalah mengurangi ketergantungan pada pestisida dan pupuk kimia. Penggunaan pestisida organik dan teknik pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan, seperti pengendalian hama terintegrasi (IPM), dapat mengurangi kontaminasi tanah dan air yang sering terjadi akibat penggunaan bahan kimia berbahaya (Vermeulen *et al.*, 2012). Dengan mengurangi penggunaan bahan kimia, kualitas tanah dan

ekosistem alami yang bergantung pada keseimbangan ini dapat dipertahankan.

Pengurangan jejak karbon di sektor pertanian dapat dicapai dengan beralih dari penggunaan energi fosil yang tinggi, seperti bahan bakar untuk traktor dan mesin pertanian, ke sumber energi terbarukan. Penggunaan energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, dapat membantu menurunkan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sektor pertanian. Sistem pertanian yang lebih efisien, termasuk penggunaan teknologi pertanian presisi, juga dapat mengurangi penggunaan energi dan bahan bakar, mengarah pada pengurangan jejak karbon yang signifikan.

E. Peran Pertanian dalam Ketahanan Pangan Global

Ketahanan pangan global adalah isu sentral dalam pembangunan berkelanjutan, terutama di tengah tantangan seperti pertumbuhan populasi, perubahan iklim, dan degradasi sumber daya alam. Pertanian berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan dengan menyediakan sumber makanan yang cukup, aman, dan berkelanjutan bagi populasi dunia yang terus bertambah. Namun, sistem pertanian saat ini menghadapi berbagai tantangan yang memerlukan solusi inovatif untuk menjaga keberlanjutannya. Pertanian berkontribusi langsung pada tiga dimensi pertama ketahanan pangan melalui produksi makanan, distribusi, dan peningkatan nilai gizi produk pangan. Di tingkat global, sektor pertanian menyumbang lebih dari 80% makanan yang dikonsumsi manusia, menjadikannya tulang punggung sistem pangan dunia (Vermeulen *et al.*, 2012).

1. Produksi Pangan yang Memadai

Produksi pangan global telah mengalami peningkatan yang signifikan selama beberapa dekade terakhir, berkat kemajuan teknologi dan inovasi dalam sektor pertanian. Teknologi bioteknologi, seperti rekayasa genetika tanaman, telah memungkinkan pengembangan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap hama, penyakit, dan kondisi iklim ekstrem. Di samping itu, pertanian presisi, yang menggunakan alat dan sistem berbasis data untuk memonitor dan mengelola lahan secara efisien, telah membantu meningkatkan hasil panen dengan penggunaan input yang lebih efisien (Tilman *et al.*, 2009). Selain itu, perbaikan dalam

praktik pertanian seperti rotasi tanaman dan pengelolaan hama terpadu juga telah berkontribusi pada peningkatan produktivitas tanah.

Meskipun ada kemajuan signifikan dalam produksi pangan, tantangan besar tetap menghadang sektor pertanian global. Perubahan iklim menjadi salah satu faktor utama yang mengancam kestabilan produksi pangan, mengingat fluktuasi suhu dan curah hujan yang semakin tidak menentu, serta peningkatan kejadian cuaca ekstrem seperti kekeringan dan banjir. Hal ini mengurangi produktivitas tanah dan mengganggu pola tanam yang telah diandalkan selama ini. Penurunan kualitas tanah akibat praktik pertanian yang tidak berkelanjutan, seperti penggunaan pupuk kimia berlebihan dan deforestasi, juga memperburuk situasi ini.

2. Diversifikasi Produk Pertanian

Diversifikasi produk pertanian adalah strategi penting untuk meningkatkan ketahanan pangan global dengan memperkenalkan variasi dalam jenis tanaman dan ternak yang dibudidayakan. Pendekatan ini membantu mengurangi ketergantungan pada satu jenis komoditas yang rentan terhadap fluktuasi pasar dan perubahan iklim. Dengan menanam berbagai jenis tanaman atau mengintegrasikan kegiatan peternakan, petani dapat mengurangi risiko gagal panen yang disebabkan oleh cuaca ekstrem atau serangan hama, yang seringkali dapat menghancurkan hasil panen satu jenis tanaman tertentu (Tscharntke *et al.*, 2012). Diversifikasi ini tidak hanya mengurangi kerugian ekonomi, tetapi juga memungkinkan penggunaan sumber daya alam secara lebih optimal.

Diversifikasi juga dapat meningkatkan nilai gizi pangan yang tersedia. Beragam jenis tanaman dan produk ternak memiliki kandungan gizi yang berbeda, dan keberagaman ini membantu menciptakan pola makan yang lebih seimbang dan bergizi bagi masyarakat. Misalnya, integrasi tanaman buah-buahan, sayuran, dan biji-bijian dengan produk ternak seperti telur, susu, dan daging dapat menyediakan berbagai macam vitamin, protein, dan mineral yang diperlukan untuk kesehatan tubuh.

3. Pertanian sebagai Sumber Pendapatan dan Lapangan Kerja

Sektor pertanian merupakan sumber pendapatan utama bagi lebih dari 2,5 miliar orang di dunia, sebagian besar berasal dari negara berkembang. Dalam banyak kasus, pertanian adalah mata pencaharian

yang menggerakkan perekonomian desa dan daerah terpencil, tempat penduduknya bergantung pada lahan pertanian untuk menghasilkan bahan pangan dan produk komersial lainnya. Pertanian menyediakan berbagai pekerjaan mulai dari petani, pekerja musiman, hingga pemroses hasil pertanian, yang semuanya berkontribusi pada pengurangan tingkat pengangguran dan meningkatkan stabilitas ekonomi di komunitas tersebut (Altieri, 2018). Selain itu, sektor ini berperan besar dalam menciptakan peluang ekonomi yang lebih merata.

Dengan menciptakan lapangan kerja, pertanian berperan penting dalam meningkatkan daya beli masyarakat. Pendapatan yang diperoleh petani dan pekerja pertanian akan mendukung ekonomi lokal, yang pada gilirannya membantunya untuk mengakses makanan yang lebih bergizi. Peningkatan daya beli ini menciptakan siklus yang mendukung produksi pangan yang lebih baik dan berkelanjutan, yang meningkatkan ketahanan pangan di tingkat lokal dan global. Hal ini juga berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan sosial, karena masyarakat dapat mengakses lebih banyak produk, pendidikan, dan layanan kesehatan yang lebih baik.



BAB II

TANTANGAN GLOBAL DALAM PERTANIAN BERKELANJUTAN

Tantangan global yang dihadapi oleh pertanian berkelanjutan, dengan fokus pada isu-isu yang mempengaruhi kemampuan sektor ini untuk menyediakan pangan yang cukup dan bergizi bagi populasi yang terus berkembang. Tantangan pertama adalah perubahan iklim yang semakin parah, yang mengancam produktivitas pertanian di berbagai wilayah. Penurunan curah hujan, peningkatan suhu, serta cuaca ekstrem seperti kekeringan dan banjir telah mempengaruhi ketahanan pangan di banyak negara.

Tantangan kedua adalah degradasi sumber daya alam, terutama lahan pertanian dan air. Eksploitasi yang berlebihan terhadap lahan pertanian, deforestasi, dan pencemaran tanah telah menyebabkan penurunan kualitas lahan, sementara penggunaan air yang tidak efisien semakin memperburuk krisis air global. Sumber daya alam yang semakin terbatas ini memerlukan perhatian khusus dalam menciptakan sistem pertanian yang tidak hanya produktif tetapi juga ramah lingkungan, untuk menjaga keberlanjutan sektor pertanian.

Tantangan lainnya adalah ketimpangan dalam akses terhadap teknologi dan pengetahuan pertanian. Petani kecil dan kelompok marginal seringkali kekurangan akses terhadap inovasi dan dukungan yang diperlukan untuk mengadopsi praktik pertanian berkelanjutan. Hal ini menghambat kemajuan menuju pertanian yang lebih inklusif dan ramah lingkungan. Meskipun ada berbagai teknologi baru yang dapat meningkatkan hasil pertanian secara berkelanjutan, kesenjangan dalam akses dan adopsi teknologi menjadi hambatan utama bagi banyak petani di negara berkembang.

A. Perubahan Iklim dan Dampaknya

Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh sektor pertanian di seluruh dunia. Dampaknya terasa dalam berbagai aspek, mulai dari penurunan hasil panen, gangguan terhadap siklus musiman, hingga kerusakan ekosistem yang memengaruhi produksi pangan. Sebagai salah satu sektor yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan, pertanian menghadapi risiko signifikan dari fenomena ini.

Perubahan iklim merujuk pada perubahan pola cuaca dalam jangka panjang akibat aktivitas manusia, terutama melalui emisi gas rumah kaca (GRK) seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O). Fenomena ini mengakibatkan kenaikan suhu global, perubahan pola curah hujan, dan peningkatan frekuensi serta intensitas cuaca ekstrem. Perubahan iklim memengaruhi ekosistem dengan mempercepat pencairan es di kutub, meningkatkan tingkat permukaan laut, dan mengubah habitat flora dan fauna. Semua faktor ini secara langsung atau tidak langsung berdampak pada sektor pertanian.

1. Ketersediaan Pangan

Ketersediaan pangan merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh dunia dalam menjaga ketahanan pangan global. Dalam beberapa dekade terakhir, penurunan produksi pangan yang signifikan, terutama di negara-negara berkembang, telah meningkatkan risiko kelaparan dan malnutrisi. Negara-negara ini sangat bergantung pada sektor pertanian sebagai sumber utama pangan, mata pencaharian, dan stabilitas ekonomi. Oleh karena itu, setiap penurunan produksi pangan yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti perubahan iklim, degradasi tanah, dan bencana alam dapat memperburuk kondisi, menyebabkan peningkatan harga pangan dan memperburuk kelaparan (Wheeler & von Braun, 2013).

Di negara-negara berkembang, banyak masyarakat yang hidup bergantung pada hasil pertanian lokal untuk memenuhi kebutuhan pangan. Produksi yang menurun akibat cuaca ekstrem, kekeringan, atau serangan hama dapat langsung mengurangi pasokan pangan dan meningkatkan kerawanan pangan. Dengan sistem pertanian yang rentan, terutama di daerah-daerah yang bergantung pada pertanian subsisten, penurunan hasil pertanian dapat menyebabkan hilangnya mata

pencapaian bagi jutaan orang, meningkatkan angka kemiskinan dan ketidakamanan pangan. Selain itu, kelangkaan pangan memicu peningkatan harga yang semakin membebani masyarakat yang sudah hidup dalam garis kemiskinan.

2. Ketimpangan Sosial dan Ekonomi

Perubahan iklim semakin memperburuk ketimpangan sosial dan ekonomi antara negara maju dan berkembang. Negara-negara maju, yang lebih kaya dan memiliki infrastruktur yang lebih baik, memiliki kemampuan untuk mengadaptasi dan mengurangi dampak perubahan iklim, dapat menginvestasikan sumber daya yang lebih besar dalam teknologi, penelitian, dan inovasi yang dapat membantu memitigasi dampak negatif tersebut. Sebaliknya, negara berkembang sering kali kekurangan akses terhadap teknologi dan dana yang dibutuhkan untuk mengatasi dampak perubahan iklim, yang memperburuk ketimpangan sosial dan ekonomi di tingkat global (Serraj *et al.*, 2019).

Di negara berkembang, banyak sektor ekonomi yang sangat bergantung pada pertanian dan sumber daya alam. Perubahan iklim yang menyebabkan cuaca ekstrem, seperti kekeringan, banjir, dan suhu yang tidak menentu, langsung berdampak pada hasil pertanian dan mengurangi ketahanan pangan. Masyarakat yang bergantung pada hasil pertanian untuk hidupnya sering kali tidak memiliki akses yang memadai ke teknologi pertanian yang lebih efisien atau sistem irigasi yang dapat mengurangi dampak dari perubahan iklim. Selain itu, ketergantungan pada sektor pertanian juga membuatnya lebih rentan terhadap fluktuasi harga pangan global.

3. Hilangnya Keanekaragaman Hayati

Hilangnya keanekaragaman hayati menjadi salah satu dampak serius dari perubahan iklim yang berpotensi mengancam keberlanjutan sistem pertanian dan ketahanan pangan global. Ekosistem pertanian yang terdiversifikasi, yang mencakup berbagai jenis tanaman dan hewan, berfungsi untuk menjaga stabilitas produksi pangan dan mendukung ketahanan ekosistem. Keanekaragaman hayati ini tidak hanya memperkuat ketahanan terhadap hama dan penyakit, tetapi juga mendukung siklus alami yang penting, seperti penyerbukan, yang sangat dibutuhkan untuk menghasilkan pangan yang bergizi. Namun, perubahan iklim yang menyebabkan perubahan suhu, pola curah hujan,

dan frekuensi peristiwa cuaca ekstrem, mengganggu keseimbangan alami ini (Altieri, 2018).

Perubahan iklim memengaruhi pola migrasi hewan, termasuk serangga penyerbuk seperti lebah, yang sangat penting bagi banyak tanaman pertanian. Dengan naiknya suhu global, habitat alami hewan dan tanaman menjadi terancam, yang dapat mengurangi keberagaman spesies dan memengaruhi ketersediaan pangan. Tanaman yang bergantung pada penyerbukan alami dapat mengalami penurunan hasil yang signifikan, yang pada akhirnya berdampak pada produksi pangan. Selain itu, perubahan cuaca yang ekstrem seperti kekeringan atau banjir dapat merusak habitat alami dan mengurangi populasi spesies tertentu, yang mengurangi keanekaragaman hayati yang ada.

B. Krisis Air dan Pengelolaannya dalam Pertanian

Air merupakan elemen mendasar bagi pertanian, dengan sektor ini menggunakan sekitar 70% dari total konsumsi air tawar global. Namun, meningkatnya permintaan air, degradasi sumber daya air, dan dampak perubahan iklim telah menciptakan krisis air global. Krisis air merujuk pada ketidakmampuan sumber daya air untuk memenuhi kebutuhan manusia dan lingkungan secara berkelanjutan. Dalam konteks pertanian, krisis ini mencakup kelangkaan air, polusi air, dan pengelolaan air yang tidak efisien.

1. Teknologi Irigasi Modern

a. Irigasi Tetes dan Sprinkler

Irigasi tetes dan sprinkler adalah teknologi irigasi modern yang dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan air, salah satu sumber daya penting dalam pertanian. Sistem irigasi tetes, misalnya, mengalirkan air langsung ke akar tanaman, mengurangi pemborosan air akibat evaporasi dan limpasan. Teknik ini sangat berguna di daerah-daerah dengan keterbatasan sumber daya air, karena dapat mengurangi pemborosan sekaligus memberikan kelembaban yang optimal untuk tanaman.

Sistem irigasi sprinkler juga menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dalam distribusi air. Dengan menggunakan penyemprot yang menyebarkan air secara merata, irigasi sprinkler membantu menciptakan kondisi yang ideal bagi tanaman, terutama di lahan

yang lebih luas. Penggunaan irigasi sprinkler dapat disesuaikan dengan kondisi cuaca dan kebutuhan spesifik tanaman, meminimalkan penggunaan air pada area yang tidak memerlukan kelembaban ekstra. Seperti irigasi tetes, sistem ini juga dapat mengurangi pemborosan air secara signifikan, karena air disalurkan hanya ke area yang membutuhkan.

b. Sensor Kelembaban Tanah

Sensor kelembaban tanah merupakan teknologi inovatif yang membantu petani mengoptimalkan penggunaan air dalam irigasi dengan mengukur kelembaban tanah secara real-time. Alat ini dapat mendeteksi tingkat kelembaban tanah di berbagai kedalaman, yang memungkinkan petani untuk mengatur irigasi hanya ketika tanah membutuhkan air. Dengan demikian, penggunaan air dapat lebih efisien, menghindari pemborosan dan memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang sesuai untuk tumbuh optimal.

Teknologi sensor kelembaban tanah juga berkontribusi dalam meningkatkan hasil pertanian dengan memastikan bahwa tanaman menerima air dalam jumlah yang tepat, tidak terlalu banyak atau terlalu sedikit. Pengaturan irigasi yang lebih presisi dapat membantu mengurangi stres tanaman yang disebabkan oleh kekeringan atau kelebihan air, sehingga tanaman tetap sehat dan produktif. Selain itu, teknologi ini memungkinkan petani untuk mengurangi frekuensi pengecekan manual, yang menghemat waktu dan tenaga kerja.

2. Pemanfaatan Air Hujan

a. Panen Air Hujan

Pemanfaatan air hujan sebagai sumber air alternatif menjadi solusi yang sangat penting, terutama di daerah semi-kering yang mengalami musim kering panjang. Sistem panen air hujan mengumpulkan air hujan yang jatuh pada permukaan atap atau area terbuka lainnya dan menyimpannya dalam tangki atau wadah khusus. Air hujan ini kemudian dapat digunakan untuk kebutuhan irigasi, mencuci, bahkan konsumsi domestik, tergantung pada sistem pengolahannya. Dengan cara ini, petani dapat mengurangi ketergantungan pada sumber air lain yang mungkin terbatas atau mahal (Moumen *et al.*, 2019).

Di banyak daerah dengan curah hujan musiman, mengumpulkan air hujan memungkinkan untuk menjaga ketersediaan air selama musim kering. Hal ini penting mengingat banyak daerah yang menghadapi ketidakpastian iklim dan siklus hujan yang tidak terduga. Selain itu, teknologi penyimpanan air hujan seperti tangki bawah tanah atau kolam retensi dapat membantu memaksimalkan penyerapan air dan meminimalkan penguapan, yang meningkatkan efisiensi penggunaan air yang disimpan.

b. Recharge Akuifer

Recharge akuifer melalui infiltrasi buatan merupakan salah satu solusi penting dalam mengatasi penurunan tingkat air tanah yang terjadi akibat eksploitasi berlebihan. Proses ini melibatkan teknik untuk mempercepat peresapan air hujan atau air permukaan ke dalam lapisan akuifer dengan menggunakan sumur resapan atau saluran yang dirancang khusus. Teknologi ini penting, terutama di daerah yang menghadapi penurunan sumber daya air tanah akibat pertanian intensif dan penggunaan air yang tidak terkendali. Dengan memanfaatkan air hujan untuk mengisi kembali akuifer, kita dapat memastikan keberlanjutan pasokan air tanah yang semakin langka.

Dengan infiltrasi buatan, air yang terkumpul dari curah hujan atau sistem irigasi yang berlebihan dapat dipandu untuk meresap ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam, meningkatkan volume cadangan air tanah. Hal ini tidak hanya membantu mengatasi masalah penurunan air tanah, tetapi juga menjaga kualitas air tanah dengan mengurangi risiko pencemaran dari permukaan. Selain itu, sistem ini dapat digunakan untuk memperbaiki ketahanan air di daerah yang sangat bergantung pada air tanah sebagai sumber utama air bersih.

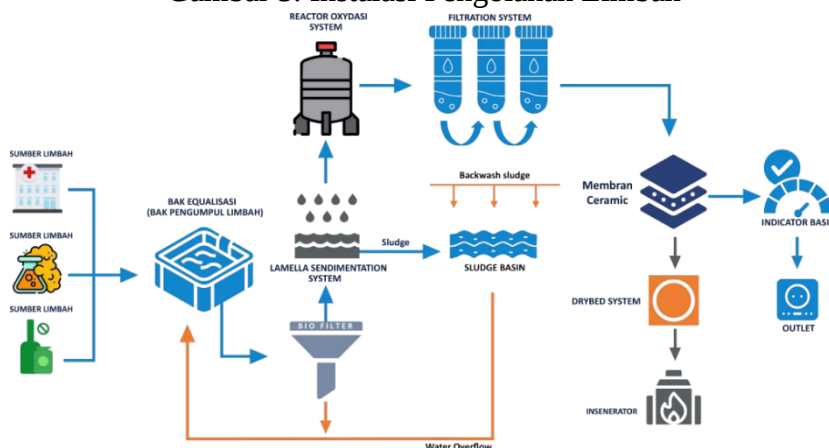
3. Diversifikasi Sumber Air

a. Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah untuk digunakan kembali dalam irigasi pertanian adalah solusi inovatif yang semakin populer untuk mengatasi masalah kekurangan air. Proses ini melibatkan pemurnian air limbah, baik itu dari rumah tangga, industri, atau pertanian, untuk menghilangkan kontaminan dan patogen, sehingga air yang dihasilkan aman untuk digunakan dalam

kegiatan irigasi. Dengan memanfaatkan air limbah, penggunaan sumber daya air menjadi lebih efisien dan berkelanjutan, mengurangi ketergantungan pada sumber air tawar yang terbatas, serta mengurangi beban pada saluran pembuangan dan fasilitas pengolahan limbah.

Gambar 5. Instalasi Pengolahan Limbah



Sumber: *Nodemedic*

Pengolahan air limbah untuk irigasi pertanian memiliki potensi untuk mengurangi pencemaran lingkungan, terutama di daerah perkotaan yang sering kali menghasilkan volume air limbah yang besar. Setelah proses pengolahan, air limbah yang telah dimurnikan dapat digunakan untuk menyirami tanaman, mengurangi kebutuhan akan penggunaan air tanah atau air permukaan yang lebih mahal dan terbatas. Beberapa sistem pengolahan seperti filtrasi, koagulasi, dan klorinasi telah terbukti efektif dalam memurnikan air limbah agar layak digunakan dalam pertanian.

b. Desalinasi Air Laut

Desalinasi air laut merupakan salah satu solusi yang semakin diperhatikan untuk menyediakan air tawar, terutama di daerah pesisir yang menghadapi tantangan kekurangan air bersih. Proses desalinasi ini mengubah air laut menjadi air tawar yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan, termasuk irigasi pertanian. Dalam proses ini, air laut melalui tahap pemisahan garam dan mineral menggunakan teknologi seperti osmosis terbalik, yang efektif menghilangkan sebagian besar kandungan garam dan menghasilkan air yang aman digunakan untuk tanaman. Dengan

meningkatnya permintaan air tawar di wilayah pesisir, teknologi ini menjadi sangat penting dalam menjaga ketahanan pangan di daerah yang terpengaruh oleh kekeringan atau keterbatasan sumber air tawar alami.

Meskipun desalinasi menawarkan potensi besar, teknologi ini memerlukan investasi yang besar dan energi tinggi, terutama dalam proses pemurnian dan pemompaan air laut. Oleh karena itu, pengembangan teknologi desalinasi yang lebih efisien dan ramah lingkungan sangat penting. Beberapa inovasi terbaru mencakup penggunaan energi terbarukan, seperti tenaga surya atau angin, untuk mengurangi jejak karbon dan biaya operasional yang tinggi. Dengan pemanfaatan energi terbarukan, desalinasi menjadi lebih berkelanjutan dan dapat diandalkan sebagai sumber air alternatif untuk irigasi pertanian.

C. Penurunan Kesuburan Tanah dan Erosi

Penurunan kesuburan tanah dan erosi tanah merupakan dua tantangan besar yang memengaruhi pertanian berkelanjutan di seluruh dunia. Tanah yang subur adalah sumber daya penting dalam sistem pertanian karena memberikan unsur hara bagi tanaman dan mendukung produksi pangan. Namun, praktik pertanian yang tidak berkelanjutan, perubahan iklim, dan tekanan dari populasi yang terus berkembang telah memperburuk kondisi tanah di banyak wilayah, menurunkan produktivitas dan mengancam ketahanan pangan global.

Penurunan kesuburan tanah merujuk pada kondisi di mana tanah kehilangan kemampuan untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal karena berkurangnya kandungan unsur hara penting, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Proses ini dapat terjadi akibat penggunaan pupuk kimia secara berlebihan, pengolahan tanah yang tidak tepat, serta penggundulan hutan yang merusak struktur tanah. Erosi tanah adalah proses pengikisan lapisan tanah yang subur oleh air, angin, atau aktivitas manusia. Erosi sering kali terjadi karena pengelolaan tanah yang buruk, seperti deforestasi, penggunaan alat pertanian yang berat, dan tanamannya yang tidak sesuai dengan kondisi lingkungan. Erosi mengurangi ketebalan lapisan tanah yang subur, mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air, dan menyebabkan kehilangan unsur hara.

1. Penurunan Produktivitas Pertanian

Penurunan produktivitas pertanian seringkali dipicu oleh masalah erosi tanah yang mengurangi kualitas dan kesuburan tanah. Tanah yang tererosi kehilangan lapisan subur yang sangat penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Erosi ini terjadi karena faktor alami, seperti angin dan air hujan, namun juga dipicu oleh aktivitas manusia, seperti penggundulan hutan dan praktik pertanian yang tidak berkelanjutan. Tanpa penanganan yang tepat, tanah yang tererosi menjadi semakin miskin akan unsur hara, sehingga tanaman kesulitan untuk tumbuh dan menghasilkan panen yang optimal (Lal, 2020).

Erosi juga membawa partikel tanah ke perairan, yang dapat menyebabkan pencemaran dan kerusakan ekosistem. Tanah yang tercemar ini kehilangan kapasitas untuk menyimpan air dan nutrisi, yang menghambat pertumbuhan tanaman dan menyebabkan penurunan hasil pertanian. Ketika tanah menjadi semakin miskin akan unsur hara, penggunaan pupuk kimia dan pestisida menjadi kurang efektif dan berisiko terhadap lingkungan, sehingga meningkatkan ketergantungan pada input eksternal yang semakin mahal.

2. Ketahanan Pangan yang Terancam

Penurunan kesuburan tanah dan erosi tanah merupakan ancaman besar bagi ketahanan pangan global. Tanah yang terdegradasi kehilangan kemampuan untuk menyimpan air dan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman, yang berdampak langsung pada produktivitas pertanian. Tanah yang subur berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman, dan erosi tanah menghilangkan lapisan permukaan yang kaya akan unsur hara, memperburuk ketahanan pangan. Hampir sepertiga dari tanah dunia telah mengalami degradasi, yang menurunkan luas lahan yang dapat digunakan untuk produksi pangan dan meningkatkan ketergantungan negara-negara berkembang pada impor pangan.

Banyak negara berkembang yang sangat bergantung pada sektor pertanian sebagai sumber pangan utama kini menghadapi tantangan besar akibat penurunan kesuburan tanah. Penggunaan tanah yang berlebihan tanpa praktik pertanian yang berkelanjutan menyebabkan degradasi yang cepat. Penurunan kualitas tanah ini mengurangi kapasitas lahan untuk mendukung tanaman dalam jangka panjang, yang membuat negara-negara ini lebih rentan terhadap krisis pangan dan memperburuk ketergantungan pada impor pangan. Dampaknya, stabilitas pasokan

pangan menjadi terganggu, meningkatkan ketidakpastian dan volatilitas harga pangan di pasar global.

3. Dampak Lingkungan yang Lebih Luas

Erosi tanah tidak hanya mengancam ketahanan pangan, tetapi juga memiliki dampak lingkungan yang lebih luas. Proses erosi membawa bahan organik, unsur hara, dan pestisida ke badan air seperti sungai, danau, dan laut. Kehilangan unsur hara dan bahan organik yang terbuang ini menyebabkan penurunan kualitas air, yang bisa mengakibatkan eutrofikasi proses di mana air menjadi kaya akan nutrisi berlebih, mendorong pertumbuhan alga yang dapat mengurangi kadar oksigen dan membunuh organisme akuatik. Dampak ini memperburuk kualitas lingkungan akuatik dan mengganggu keseimbangan ekosistem yang sangat bergantung pada ketersediaan oksigen dalam air.

Pencemaran yang ditimbulkan oleh erosi tanah juga meningkatkan beban ekologis pada ekosistem air tawar dan pesisir. Pestisida yang terbawa oleh aliran air dapat membunuh atau merusak organisme yang berperan penting dalam rantai makanan ekosistem akuatik. Beberapa jenis pestisida bahkan dapat bersifat toksik bagi ikan, burung, dan spesies lainnya yang hidup di sepanjang sungai atau pesisir. Seiring waktu, akumulasi bahan kimia ini bisa mengurangi keragaman hayati dan membuat beberapa spesies terancam punah, yang pada gilirannya mengurangi ketahanan ekosistem itu sendiri.

D. Ketergantungan pada Pestisida dan Pupuk Kimia

Penggunaan pestisida dan pupuk kimia dalam pertanian telah menjadi hal yang umum di banyak negara. Namun, ketergantungan pada kedua produk ini menimbulkan tantangan besar bagi pertanian berkelanjutan. Meskipun pupuk kimia dan pestisida dapat meningkatkan hasil panen dalam jangka pendek, penggunaan yang berlebihan dan tidak terkendali menimbulkan dampak negatif yang serius terhadap lingkungan, kesehatan manusia, dan keberlanjutan sistem pertanian itu sendiri.

Pupuk kimia adalah bahan yang ditambahkan ke tanah atau tanaman untuk menyediakan unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Pupuk kimia sintetis, yang umumnya diproduksi dengan proses industri,

telah menjadi salah satu kunci utama untuk meningkatkan produktivitas pertanian. Namun, penggunaan berlebihan dari pupuk kimia dapat menyebabkan degradasi tanah, pencemaran air, dan dampak negatif lainnya bagi ekosistem dan kesehatan manusia. Pestisida adalah bahan kimia yang digunakan untuk membunuh atau mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Penggunaan pestisida yang meluas telah meningkatkan hasil pertanian, namun juga menimbulkan masalah terkait resistensi hama, penurunan keanekaragaman hayati, serta kontaminasi produk pertanian yang merugikan kesehatan manusia dan hewan.

1. Dampak Terhadap Kesehatan Manusia

Penggunaan pupuk kimia dan pestisida yang tidak terkontrol memiliki dampak serius terhadap kesehatan manusia. Bahan kimia ini dapat mencemari air tanah, makanan, dan udara, yang pada gilirannya meningkatkan potensi paparan bagi manusia. Pestisida, misalnya, dapat meresap ke dalam tanah dan air tanah, mencemari sumber air yang digunakan oleh masyarakat untuk keperluan konsumsi. Kontaminasi ini berisiko menyebabkan masalah kesehatan, seperti gangguan pencernaan, keracunan akut, dan gangguan neurologis. Tidak hanya itu, penggunaan bahan kimia ini juga mengancam keamanan makanan yang dikonsumsi oleh konsumen, karena residu pestisida yang tetap ada pada produk pertanian dapat masuk ke dalam tubuh manusia.

Paparan jangka panjang terhadap pestisida dan pupuk kimia berbahaya lainnya juga diketahui berkaitan dengan risiko kanker, gangguan hormon, dan masalah reproduksi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bahan kimia ini dapat mengganggu sistem endokrin, yang bertanggung jawab untuk mengatur berbagai fungsi tubuh, termasuk reproduksi dan metabolisme (Sharma & Singhvi, 2017). Paparan kronis terhadap pestisida juga telah dikaitkan dengan gangguan pada sistem saraf pusat, termasuk gangguan kognitif dan motorik. Ini menambah bukti bahwa pestisida tidak hanya berisiko bagi petani yang menggunakannya tetapi juga bagi masyarakat yang mengonsumsi produk yang terkontaminasi.

2. Kerusakan Lingkungan

Penggunaan pestisida dan pupuk kimia berlebihan telah menyebabkan kerusakan lingkungan yang signifikan. Pupuk kimia, terutama yang mengandung nitrogen dan fosfor, apabila digunakan

secara berlebihan dapat mengakibatkan penurunan kualitas tanah. Tanah yang terkontaminasi pupuk kimia cenderung kehilangan kesuburannya karena bahan organik yang penting bagi kehidupan mikroba tanah menjadi terganggu. Akibatnya, tanah menjadi lebih rentan terhadap erosi, serta kurang mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Mosier *et al.*, 2013). Selain itu, pupuk kimia yang terlarut dalam air hujan dapat mencemari sumber daya air, menciptakan eutrofikasi yang mengganggu kehidupan akuatik.

Pestisida, meskipun dirancang untuk mengendalikan hama, sering kali menimbulkan dampak yang lebih luas. Bahan kimia ini tidak hanya membunuh hama, tetapi juga dapat merusak organisme non-target yang penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Serangga penyerbuk seperti lebah dan kupu-kupu, yang berperan penting dalam polinasi, dapat mati akibat paparan pestisida. Selain itu, mikroorganisme tanah yang berperan dalam dekomposisi bahan organik dan siklus unsur hara juga terpengaruh, mengganggu proses alami yang mendukung kesuburan tanah. Hal ini mengarah pada penurunan keberagaman hayati dan ketidakstabilan ekosistem.

3. Resistensi Hama dan Penyakit

Ketergantungan yang berlebihan pada penggunaan pestisida dalam pertanian telah menciptakan masalah serius terkait resistensi hama. Pestisida dirancang untuk membunuh organisme yang merusak tanaman, namun dalam banyak kasus, hama berkembang menjadi kebal terhadap bahan kimia tersebut. Hal ini terjadi karena seleksi alam, di mana individu hama yang tahan terhadap pestisida memiliki peluang lebih besar untuk bertahan hidup dan berkembang biak. Seiring berjalannya waktu, populasi hama yang resisten menjadi lebih dominan, sehingga petani harus menggunakan pestisida dengan dosis yang lebih besar dan lebih sering untuk mencapai tingkat pengendalian yang sama (Kumar *et al.*, 2021).

Peningkatan dosis penggunaan pestisida ini tidak hanya meningkatkan biaya produksi, tetapi juga memperburuk dampak lingkungan. Penggunaan yang berlebihan dapat mencemari tanah dan air, serta mengancam kesehatan manusia dan organisme non-target, seperti serangga penyerbuk. Selain itu, penggunaan pestisida yang lebih intensif menyebabkan hama semakin beradaptasi, menciptakan siklus yang merugikan sistem pertanian secara keseluruhan. Dampak ini

memperburuk masalah ketahanan pangan global dengan menurunnya efektivitas pengendalian hama dan bertambahnya biaya yang harus ditanggung petani.

4. Penurunan Keanekaragaman Hayati

Penggunaan pestisida secara meluas memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap keanekaragaman hayati. Meskipun dirancang untuk mengendalikan hama yang merusak tanaman, pestisida seringkali tidak selektif dan membunuh berbagai organisme non-target yang juga berperan penting dalam ekosistem pertanian. Misalnya, pestisida dapat merusak serangga penyerbuk, seperti lebah, yang memiliki peran vital dalam pollinasi tanaman. Penurunan populasi serangga penyerbuk ini dapat mengganggu produksi tanaman, yang bergantung pada proses pollinasi untuk menghasilkan buah dan biji. Selain itu, pestisida juga memengaruhi hewan kecil, mikroorganisme tanah, dan organisme lainnya yang mendukung kesehatan tanah dan ekosistem pertanian secara keseluruhan.

Keanekaragaman hayati yang menurun berdampak langsung pada kestabilan ekosistem. Ketika organisme yang mendukung keseimbangan ekosistem, seperti predator alami hama dan pengurai bahan organik, terganggu, ekosistem menjadi lebih rentan terhadap gangguan. Misalnya, pengurangan predator alami dapat menyebabkan lonjakan populasi hama yang sebelumnya terkontrol secara alami. Hal ini dapat mengarah pada peningkatan penggunaan pestisida yang lebih intensif, menciptakan siklus yang semakin merusak keanekaragaman hayati dan memperburuk masalah ketahanan pangan.

E. Dampak Sosial dan Ekonomi terhadap Petani

Pertanian berkelanjutan bukan hanya berkaitan dengan aspek lingkungan, tetapi juga dengan kesejahteraan sosial dan ekonomi petani yang terlibat dalam sistem produksi pertanian. Dampak sosial dan ekonomi yang dialami oleh petani dapat memengaruhi penerimaan dan adopsi praktik pertanian berkelanjutan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap dampak sosial dan ekonomi ini sangat penting untuk merancang kebijakan yang dapat mendukung kesejahteraan petani, menjaga keberlanjutan sektor pertanian, dan memperkuat ketahanan pangan global. Dalam konteks ini, tantangan yang dihadapi petani melibatkan

berbagai faktor seperti akses terhadap sumber daya, ketergantungan pada teknologi dan pasar, serta dampak perubahan iklim dan ketidakpastian ekonomi.

1. Dampak Sosial terhadap Petani

a. Kesejahteraan Sosial dan Kualitas Hidup

Kesejahteraan sosial petani, khususnya di negara berkembang, sering kali terancam oleh berbagai faktor sosial dan ekonomi yang saling berkaitan. Petani sering hidup dalam kondisi kemiskinan, dengan keterbatasan akses terhadap sumber daya dasar seperti tanah, air, dan kredit. Di banyak daerah pedesaan, petani juga menghadapi ketidakmampuan untuk mengakses pendidikan yang berkualitas, layanan kesehatan yang memadai, dan peluang untuk pengembangan keterampilan. Hal ini membatasi kemampuan untuk meningkatkan kualitas hidup dan mengembangkan ekonomi keluarga secara berkelanjutan. Ketidaksetaraan ini memperburuk kondisi hidup petani yang sudah terbebani oleh tantangan-tantangan ekonomi dan sosial.

Keterbatasan akses terhadap teknologi dan informasi juga memperburuk kesenjangan sosial yang dialami petani. Meskipun teknologi pertanian modern dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi, petani di banyak negara berkembang sering kali tidak memiliki akses atau pelatihan yang cukup untuk memanfaatkannya. Keterbatasan akses terhadap pasar juga membuat petani kesulitan menjual produknya dengan harga yang adil, sehingga terjebak dalam siklus kemiskinan yang sulit untuk diputus. Dalam banyak kasus, petani juga tidak memiliki suara dalam pengambilan keputusan yang mempengaruhinya, seperti kebijakan pertanian dan alokasi sumber daya alam.

b. Ketergantungan pada Sumber Daya Alam

Petani sangat bergantung pada sumber daya alam untuk kelangsungan hidup, terutama dalam pertanian yang berbasis pada tanah dan irigasi. Tanah yang subur dan air yang cukup menjadi kunci bagi produksi pertanian, sehingga setiap perubahan pada kualitas atau ketersediaan sumber daya ini dapat memengaruhi hasil panen dan pendapatan petani. Ketergantungan yang besar ini menyebabkan petani menjadi sangat rentan terhadap perubahan kondisi alam. Misalnya,

penurunan kualitas tanah akibat erosi atau penggunaan yang tidak berkelanjutan dapat mengurangi daya dukung tanah bagi tanaman, sementara kekeringan atau banjir yang semakin sering terjadi akibat perubahan iklim dapat merusak infrastruktur pertanian yang sudah ada (Taylor, 2018).

Perubahan iklim yang memperburuk pola cuaca juga semakin menambah ketidakpastian sosial bagi petani. Pola cuaca yang lebih ekstrem, seperti kekeringan panjang atau hujan yang tidak menentu, mengurangi kestabilan dalam produksi pertanian. Kekeringan mengurangi ketersediaan air yang sangat dibutuhkan untuk irigasi, sementara banjir yang lebih sering merusak tanaman dan tanah pertanian. Perubahan ini mempengaruhi kemampuan petani untuk merencanakan produksinya dengan akurat, yang pada akhirnya berdampak pada pendapatan dan ketahanan pangan.

c. Perubahan Sosial dan Migrasi

Perubahan sosial yang dipicu oleh faktor ekonomi dan lingkungan sering kali mendorong terjadinya migrasi petani. Ketika petani mengalami kerugian akibat gagal panen atau penurunan pendapatan dari pertanian, cenderung mencari peluang baru di daerah perkotaan atau bahkan negara lain. Hal ini terjadi karena sektor pertanian yang semakin tidak menguntungkan menyebabkan banyak petani kehilangan mata pencaharian. Misalnya, dalam kasus gagal panen akibat kekeringan atau banjir, petani yang sebelumnya menggantungkan hidup pada hasil pertanian menjadi terpaksa mencari pekerjaan lain di sektor non-pertanian. Urbanisasi yang terjadi akibat migrasi ini menjadi salah satu dampak sosial yang signifikan di banyak negara berkembang.

Fenomena urbanisasi berlebihan ini membawa dampak besar bagi infrastruktur dan layanan di kota-kota. Banyak daerah perkotaan yang tidak siap menerima jumlah pendatang yang terus meningkat, menyebabkan terjadinya tekanan pada fasilitas umum seperti perumahan, air bersih, pendidikan, dan layanan kesehatan. Keadaan ini memperburuk masalah kemiskinan di kota-kota besar dan menambah kesulitan hidup bagi para migran yang umumnya tidak memiliki keterampilan yang sesuai dengan kebutuhan pasar tenaga kerja perkotaan. Akibatnya, petani yang

bermigrasi sering kali terjebak dalam siklus kemiskinan baru, di mana ia sulit untuk memperoleh pekerjaan layak dan terpisah dari jaringan sosial yang sebelumnya mendukungnya di desa.

2. Dampak Ekonomi terhadap Petani

a. Ketergantungan pada Harga Pasar

Petani sering kali sangat bergantung pada harga pasar untuk memperoleh penghasilan dari hasil pertanian. Ketergantungan ini menciptakan ketidakpastian ekonomi yang besar, terutama karena harga komoditas pertanian sering kali tidak stabil. Fluktuasi harga dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk cuaca, kebijakan perdagangan internasional, dan permintaan pasar global. Ketika harga komoditas seperti beras, gandum, atau kopi turun, petani sering kali kesulitan untuk memenuhi kebutuhan dasar, seperti membeli pangan, membayar biaya pendidikan anak, atau membiayai perawatan kesehatan keluarga. Hal ini menambah beban finansial yang sangat besar bagi petani, yang biasanya tidak memiliki tabungan atau sumber daya lain untuk menutupi kerugian saat harga turun.

Petani juga rentan terhadap kebijakan perdagangan internasional. Misalnya, tarif ekspor dan impor yang diberlakukan oleh negara-negara besar dapat mempengaruhi harga produk pertanian di pasar internasional, yang pada gilirannya berdampak langsung pada pendapatan petani. Ketika kebijakan perdagangan berubah, atau negara-negara besar mengubah sistem subsidi, petani di negara berkembang sering kali menjadi pihak yang paling terdampak. Ketergantungan pada pasar global ini membuat petani terjepit oleh faktor eksternal yang tidak bisa dikendalikan, sehingga sangat rentan terhadap perubahan ekonomi global.

b. Akses terhadap Kredit dan Modal

Akses terhadap kredit dan modal menjadi salah satu tantangan terbesar bagi petani, terutama di negara berkembang. Banyak petani kesulitan untuk mendapatkan pinjaman atau pembiayaan untuk membeli input pertanian yang dibutuhkan, seperti benih, pupuk, atau alat pertanian. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan akses ke lembaga keuangan formal yang enggan memberikan pinjaman kepada petani, yang dianggap memiliki risiko tinggi.

Bank dan lembaga keuangan sering kali menerapkan syarat yang ketat, seperti jaminan yang petani tidak mampu sediakan. Tanpa akses ke modal, petani kesulitan untuk meningkatkan kapasitas produksinya atau beralih ke metode pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kurangnya akses ke kredit juga menghalangi petani untuk berinvestasi dalam teknologi pertanian modern yang dapat meningkatkan hasil dan efisiensi. Petani yang bergantung pada teknik tradisional mungkin tidak dapat memanfaatkan peluang untuk meningkatkan hasil pertanian atau mengurangi ketergantungan pada input kimia yang merusak lingkungan. Ini menciptakan ketidakseimbangan antara petani yang memiliki akses ke pembiayaan dan yang tidak, yang semakin memperburuk kesenjangan dalam sektor pertanian. Akibatnya, banyak petani yang terperangkap dalam siklus kemiskinan dan ketergantungan pada metode pertanian yang tidak menguntungkan dalam jangka panjang.

c. Pendapatan yang Tidak Stabil

Pendapatan petani sering kali sangat bergantung pada faktor-faktor yang tidak dapat diprediksi, seperti fluktuasi harga komoditas global dan kondisi cuaca yang ekstrem. Ketidakstabilan ini memperburuk kondisi ekonomi petani, terutama di negara berkembang yang bergantung pada sektor pertanian sebagai sumber utama mata pencaharian. Misalnya, harga komoditas yang tidak stabil, seperti beras atau jagung, dapat mengalami penurunan drastis di pasar internasional, sehingga pendapatan petani merosot tajam. Dampak dari fluktuasi harga ini memaksa petani untuk menanggung kerugian besar, yang pada gilirannya memperburuk ketergantungan pada hutang dan memperburuk kemiskinan.

Bencana alam seperti kekeringan, banjir, atau perubahan iklim juga berperan besar dalam ketidakstabilan pendapatan petani. Petani yang tergantung pada kondisi alam yang mendukung hasil pertanian sering kali kehilangan sebagian besar hasil panen akibat bencana ini. Akibatnya, kesulitan untuk memenuhi kebutuhan dasar seperti pangan, pendidikan, dan kesehatan, serta kehilangan kesempatan untuk menginvestasikan kembali pendapatannya dalam meningkatkan kapasitas produksi atau

mengembangkan usaha pertanian. Penurunan produksi yang disebabkan oleh bencana alam juga menambah beban ekonomi petani.



BAB III

DEGRADASI LAHAN DAN PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM

Degradasi lahan menjadi salah satu tantangan terbesar dalam mencapai keberlanjutan pertanian. Proses ini terjadi akibat praktik pertanian yang tidak berkelanjutan, seperti pembukaan lahan secara berlebihan, penggunaan pestisida dan pupuk kimia secara berlebihan, serta konversi hutan menjadi lahan pertanian. Akibatnya, kualitas tanah menurun, kesuburan berkurang, dan kemampuan lahan untuk mendukung produksi pertanian menjadi terbatas. Pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan menjadi kunci dalam mencegah degradasi lahan. Pendekatan ini mencakup pengelolaan tanah, air, dan sumber daya hayati dengan cara yang tidak merusak lingkungan, namun tetap mempertahankan atau bahkan meningkatkan produktivitas pertanian. Teknologi ramah lingkungan, seperti penggunaan sistem pertanian konservasi, penanaman tanaman penutup tanah, dan teknik irigasi yang efisien, menjadi solusi dalam mengelola lahan secara berkelanjutan. Praktik-praktik ini dapat membantu memperbaiki struktur tanah, mengurangi erosi, dan mengembalikan nutrisi tanah yang hilang.

A. Penyebab Degradasi Lahan

Degradasi lahan merupakan salah satu masalah lingkungan utama yang memengaruhi ekosistem global dan ketahanan pangan, khususnya di negara-negara berkembang. Penyebab degradasi lahan sangat kompleks dan dapat mencakup faktor-faktor alamiah serta aktivitas manusia. Proses degradasi lahan dapat mengakibatkan hilangnya kesuburan tanah, penurunan kapasitas tanah untuk mendukung pertanian, serta hilangnya biodiversitas. Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap degradasi lahan harus dipahami secara

menyeluruh agar dapat diterapkan kebijakan dan teknologi yang efektif untuk memperbaiki dan mengelola lahan secara berkelanjutan.

1. Faktor Alamiah yang Menyebabkan Degradasi Lahan

a. Erosi Alam

Erosi alam adalah proses alami yang melibatkan pengikisan lapisan atas tanah akibat pengaruh air, angin, atau gravitasi. Di alam, erosi dapat terjadi secara perlahan dan seringkali tidak berbahaya, berfungsi sebagai bagian dari siklus alami pembentukan tanah. Namun, ketika faktor-faktor seperti intensitas hujan yang tinggi, topografi yang curam, atau kehilangan vegetasi terjadi, erosi bisa berlangsung dengan cepat dan merusak kualitas tanah secara signifikan. Area dengan curah hujan tinggi dan tanpa tutupan vegetasi yang cukup lebih rentan terhadap erosi. Tanpa adanya tanaman yang berakar kuat untuk menahan tanah, air hujan dapat menyebabkan tanah tergerus, membawa unsur hara dan mineral yang penting bagi pertumbuhan tanaman (Lal, 2020).

Topografi juga berperan besar dalam intensitas erosi. Wilayah dengan lereng yang curam meningkatkan kecepatan aliran air, yang dapat memperburuk pengikisan tanah. Di daerah pegunungan atau lereng, air hujan mengalir lebih cepat, menyebabkan pengikisan tanah yang lebih parah. Sebaliknya, di wilayah dataran rendah dengan kemiringan tanah yang lebih ringan, proses erosi cenderung lebih lambat. Erosi yang terjadi di wilayah yang tidak memiliki perlindungan vegetasi ini juga mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air, yang berujung pada penurunan kualitas tanah dan peningkatan kerentanannya terhadap bencana alam lainnya.

b. Perubahan Iklim dan Pola Cuaca Ekstrem

Perubahan iklim global telah menyebabkan pergeseran pola cuaca yang signifikan, yang berdampak langsung pada degradasi lahan. Peningkatan suhu global dan perubahan pola curah hujan mempengaruhi keberlanjutan tanah yang subur. Di banyak daerah, cuaca ekstrem seperti banjir besar atau kekeringan panjang semakin sering terjadi, yang memperburuk kualitas tanah dan meningkatkan erosi. Banjir membawa material tanah yang subur ke sungai atau lautan, sementara kekeringan

mengurangi kelembaban tanah dan memperburuk kondisinya (Taylor, 2018). Peningkatan suhu juga memicu penguapan lebih cepat, mengurangi kelembaban tanah yang vital untuk pertumbuhan tanaman.

Kekeringan yang berkepanjangan memperburuk proses pembentukan humus, yang merupakan elemen penting dalam mempertahankan kesuburan tanah. Tanah yang kekurangan kelembaban tidak dapat mendukung organisme pengurai yang berperan dalam dekomposisi bahan organik, yang pada gilirannya memperlambat pembentukan humus. Hal ini menyebabkan tanah menjadi semakin tandus, tidak mampu menyimpan nutrisi yang diperlukan tanaman, dan membuatnya lebih rentan terhadap erosi. Dalam jangka panjang, penurunan kesuburan tanah ini dapat mengurangi hasil pertanian dan memperburuk ketahanan pangan.

2. Faktor Manusia yang Menyebabkan Degradasi Lahan

a. Praktik Pertanian yang Tidak Berkelanjutan

Praktik pertanian yang tidak berkelanjutan merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan degradasi lahan. Teknik-teknik pertanian intensif, seperti pembajakan tanah yang berlebihan dan penggunaan pestisida serta pupuk kimia secara terus-menerus, merusak struktur tanah dan mengurangi kualitasnya. Pembajakan yang berlebihan dapat menghilangkan lapisan tanah atas yang kaya akan bahan organik, sehingga mengurangi kesuburan tanah dan meningkatkan kerentanannya terhadap erosi. Tanpa adanya periode pemulihan, tanah menjadi lebih mudah tergerus oleh air hujan atau angin, yang pada akhirnya memperburuk kondisi tanah.

Penggunaan pestisida dan pupuk kimia secara berlebihan juga mempengaruhi keseimbangan ekosistem tanah. Pupuk kimia dapat merusak mikroorganisme tanah yang berperan dalam siklus nutrisi, sementara pestisida membunuh berbagai organisme yang seharusnya membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kesuburannya. Praktik ini mengurangi biodiversitas tanah yang sangat penting untuk pemeliharaan kesuburan tanah dalam jangka panjang. Akibatnya, tanah menjadi kurang produktif, yang mendorong petani untuk

menggunakan lebih banyak input pertanian, meskipun hasil yang diperoleh sering kali tidak sebanding dengan usaha dan biaya yang dikeluarkan.

b. Deforestasi dan Pembukaan Lahan

Deforestasi dan pembukaan lahan menjadi faktor signifikan yang memperburuk degradasi lahan, khususnya di daerah tropis. Ketika hutan ditebang untuk membuka lahan bagi pertanian atau pemukiman, tanah yang sebelumnya dilindungi oleh vegetasi menjadi rentan terhadap kerusakan. Vegetasi hutan memiliki peran penting dalam menjaga kelembaban tanah, mengatur aliran air, dan melindungi tanah dari erosi. Ketika pohon-pohon ditebang, lapisan tanah atas yang subur mudah terkikis oleh air hujan atau angin, mengurangi kesuburan tanah dan meningkatkan kerentanannya terhadap bencana alam seperti tanah longsor dan banjir (Lal, 2020). Tanpa perlindungan dari vegetasi, tanah menjadi tidak stabil dan sulit untuk kembali ke kondisi semula.

Pembukaan lahan untuk pertanian, perkebunan, dan pemukiman juga mengakibatkan hilangnya biodiversitas. Keberadaan hutan berperan sebagai habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna. Ketika hutan ditebang, banyak spesies kehilangan tempat tinggal dan sumber makanannya. Proses ini memengaruhi keseimbangan ekosistem dan mengurangi keragaman hayati, yang memiliki dampak jangka panjang terhadap kestabilan ekosistem. Dalam banyak kasus, lahan yang dibuka untuk pertanian tidak selalu diikuti dengan pengelolaan yang berkelanjutan, yang menyebabkan degradasi lebih lanjut.

B. Dampak Degradasi terhadap Hasil Pertanian

Degradasi lahan, yang merujuk pada penurunan kualitas dan kesuburan tanah, memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap hasil pertanian. Proses degradasi ini dapat mengurangi kapasitas lahan untuk mendukung produksi pertanian, memperburuk ketahanan pangan, dan memengaruhi ekonomi global dan lokal. Penurunan hasil pertanian akibat degradasi lahan bukan hanya mengurangi pendapatan petani, tetapi juga dapat menyebabkan krisis pangan, merugikan perekonomian negara, dan meningkatkan kemiskinan.

1. Penurunan Produksi Tanaman

Degradasi lahan menyebabkan penurunan kesuburan tanah yang signifikan, yang pada gilirannya memengaruhi kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Ketika tanah kehilangan bahan organik dan nutrisi penting, kualitas tanah menurun dan tanah menjadi kurang mampu menyediakan unsur-unsur yang diperlukan tanaman untuk tumbuh dengan baik. Tanaman yang tumbuh di tanah yang terdegradasi sering kali menunjukkan gejala seperti pertumbuhan yang lambat, daun menguning, dan bahkan kematian tanaman jika kondisi ini berlanjut (Lal, 2020). Kekurangan unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang disebabkan oleh degradasi tanah menjadi hambatan besar bagi produktivitas pertanian. Selain penurunan kesuburan tanah, erosi tanah juga berperan penting dalam penurunan hasil pertanian. Ketika tanah tererosi, lapisan atas tanah yang kaya akan nutrisi hilang, meninggalkan lapisan tanah yang lebih miskin dan tidak cocok untuk pertumbuhan tanaman. Erosi dapat terjadi melalui aliran air hujan atau angin, dan semakin sering terjadi pada tanah yang tidak terlindungi vegetasi. Tanpa perlindungan yang memadai, erosi memperburuk penurunan kesuburan tanah, yang berimbas langsung pada penurunan hasil pertanian.

2. Penurunan Kualitas Hasil Pertanian

Degradasi lahan tidak hanya berdampak pada kuantitas hasil pertanian, tetapi juga memengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Tanah yang mengalami kekurangan unsur hara penting atau memiliki tingkat salinitas yang tinggi cenderung menghasilkan tanaman dengan kualitas yang lebih rendah. Tanaman yang tumbuh di tanah terdegradasi sering kali menunjukkan gejala pertumbuhan yang tidak optimal, seperti ukuran buah yang lebih kecil, tekstur yang buruk, dan rasa yang kurang enak. Hal ini disebabkan oleh ketidakmampuan tanah untuk menyediakan nutrisi yang cukup bagi tanaman, yang penting untuk pertumbuhan dan pembentukan hasil yang berkualitas tinggi.

Tanaman yang tumbuh di tanah yang terdegradasi lebih rentan terhadap serangan hama dan penyakit. Kehilangan keseimbangan ekosistem tanah, yang disebabkan oleh praktik pertanian yang tidak berkelanjutan, merusak perlindungan alami yang biasanya diberikan oleh organisme tanah. Tanpa perlindungan yang memadai, tanaman menjadi lebih mudah diserang oleh hama atau infeksi jamur, yang pada

gilirannya dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil pertanian. Serangan hama dan penyakit ini semakin memperburuk ketahanan pangan, terutama di negara-negara berkembang yang bergantung pada pertanian sebagai sumber utama pangan.

3. Peningkatan Ketergantungan pada Input Eksternal

Degradasi lahan menyebabkan penurunan kualitas tanah, yang pada gilirannya meningkatkan ketergantungan petani pada input eksternal seperti pupuk kimia dan pestisida. Tanah yang kehilangan kesuburan secara alami memerlukan tambahan bahan kimia untuk meningkatkan hasil pertanian. Meskipun penggunaan pupuk dan pestisida dapat memberikan perbaikan sementara, ini sering kali tidak menyelesaikan masalah mendalam yang disebabkan oleh degradasi tanah. Petani yang terpaksa mengandalkan input ini akan mengalami peningkatan biaya produksi yang terus-menerus, yang memperburuk kondisi ekonomi, terutama di daerah dengan degradasi tanah yang parah.

Peningkatan penggunaan pupuk kimia dan pestisida dapat memberikan hasil yang lebih cepat dalam jangka pendek, tetapi dampaknya pada jangka panjang lebih merugikan. Penggunaan bahan kimia yang berlebihan dapat merusak keseimbangan mikroorganisme tanah yang penting untuk kesuburan tanah. Hal ini memperburuk kondisi tanah, membuatnya lebih rentan terhadap erosi dan kehilangan kemampuan alami untuk menyimpan air dan unsur hara. Akibatnya, ketergantungan pada bahan kimia ini menjadi siklus yang sulit diputuskan, di mana petani terus bergantung pada input eksternal meskipun hasilnya tidak berkelanjutan.

4. Peningkatan Kerawanan Pangan

Degradasi lahan memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap kerawanan pangan, terutama di kawasan yang bergantung pada pertanian subsisten. Ketika kualitas tanah menurun akibat erosi, salinitas, atau kehilangan unsur hara, hasil pertanian juga menurun. Hal ini mengurangi produksi pangan lokal, yang merupakan sumber utama pasokan makanan bagi banyak komunitas, terutama di negara-negara berkembang di Asia, Afrika, dan Amerika Latin. Degradasi tanah menyebabkan terjadinya kelaparan dan mengurangi ketersediaan pangan, sementara harga pangan semakin melambung, menambah beban ekonomi masyarakat (Zingore *et al.*, 2015).

Degradasi lahan juga mempengaruhi pendapatan petani. Tanah yang terdegradasi tidak dapat menghasilkan hasil yang optimal, sehingga petani harus menghadapi penurunan hasil panen, yang mengarah pada berkurangnya pendapatan. Hal ini menyebabkan daya beli masyarakat, khususnya di daerah pedesaan, semakin menurun. Dalam banyak kasus, ketergantungan pada lahan yang terdegradasi memperburuk kondisi kemiskinan dan ketidakstabilan sosial karena petani tidak dapat mengakses sumber daya yang cukup untuk meningkatkan produksi atau beradaptasi dengan perubahan tersebut.

C. Praktik Pengelolaan Lahan Berkelanjutan

Pengelolaan lahan berkelanjutan adalah pendekatan yang dirancang untuk memelihara dan meningkatkan fungsi ekologis tanah sambil mendukung pertanian yang produktif dan berkelanjutan. Pengelolaan ini berfokus pada pemeliharaan kualitas tanah melalui penggunaan sumber daya alam yang efisien dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu prinsip utama pengelolaan lahan berkelanjutan adalah menjaga keseimbangan ekosistem tanah, yang melibatkan pengurangan erosi, konservasi bahan organik tanah, dan perlindungan terhadap keanekaragaman hayati. Pengelolaan lahan berkelanjutan harus mengurangi kerugian ekologis, meningkatkan produktivitas pertanian, dan meminimalkan dampak terhadap iklim. Praktik pengelolaan yang berbasis pada keberlanjutan akan menciptakan sistem yang lebih tangguh terhadap perubahan iklim dan kerusakan akibat aktivitas manusia.

1. Pertanian Konservasi (*Conservation Agriculture*)

Pertanian konservasi adalah pendekatan pertanian yang berfokus pada pelestarian tanah dan peningkatan kesuburan tanah secara berkelanjutan. Salah satu prinsip utama dari pertanian konservasi adalah pengurangan pembajakan tanah. Pembajakan yang berlebihan dapat merusak struktur tanah, menyebabkan erosi, dan mengurangi kemampuan tanah untuk menahan air. Dengan mengurangi pembajakan, tanah dapat mempertahankan struktur porositasnya, yang sangat penting untuk meningkatkan infiltrasi air dan menjaga keseimbangan kelembapan tanah. Pendekatan ini membantu mencegah erosi tanah yang dapat terjadi akibat pembajakan yang berlebihan. Selain itu, penggunaan

tanaman penutup tanah (*cover crops*) merupakan bagian integral dari pertanian konservasi. Tanaman penutup membantu melindungi tanah dari erosi yang disebabkan oleh angin atau hujan, juga berperan dalam meningkatkan kandungan bahan organik di dalam tanah, yang pada gilirannya meningkatkan kesuburan tanah dan aktivitas mikroorganisme tanah yang penting untuk kesehatan tanah. Tanaman penutup tanah ini, seperti leguminosa, dapat menyuplai nitrogen ke dalam tanah, yang mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.

Prinsip ketiga dari pertanian konservasi adalah rotasi tanaman. Rotasi tanaman adalah teknik bertani yang melibatkan pergantian jenis tanaman di lahan yang sama dari musim ke musim. Praktik ini membantu menjaga kesuburan tanah, mengurangi akumulasi hama dan penyakit, serta mengoptimalkan penggunaan nutrisi dalam tanah. Tanaman yang berbeda memiliki kebutuhan dan dampak yang berbeda pada tanah, sehingga rotasi tanaman memungkinkan tanah untuk pulih dan mengurangi kebutuhan akan input eksternal seperti pupuk kimia.

2. Agroforestry

Agroforestry merupakan sistem pengelolaan lahan yang menggabungkan pohon dengan tanaman pertanian, menciptakan sistem yang saling mendukung antara kedua elemen tersebut. Salah satu keuntungan utama dari agroforestry adalah pengelolaan air yang lebih baik. Pohon-pohon yang ditanam bersama tanaman pertanian dapat mengatur kelembapan tanah dengan cara mengurangi evaporasi air dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Selain itu, pohon-pohon juga berfungsi sebagai pelindung yang mengurangi erosi tanah yang dapat terjadi akibat aliran air hujan atau angin kencang. Sistem ini juga mendukung keberagaman hayati, karena pohon dan tanaman pertanian menyediakan berbagai habitat bagi fauna lokal.

Keberadaan pohon dalam agroforestry juga memberikan manfaat langsung berupa produk tambahan, seperti kayu, buah-buahan, dan produk non-kayu lainnya yang dapat menjadi sumber pendapatan tambahan bagi petani. Misalnya, pohon kopi dan kakao yang ditanam dalam sistem agroforestry tidak hanya menghasilkan biji untuk konsumsi atau perdagangan, tetapi juga memberikan layanan ekosistem yang penting seperti penyerapan karbon, penyediaan oksigen, dan perlindungan terhadap keanekaragaman hayati. Keanekaragaman produk yang dihasilkan dalam agroforestry memungkinkan petani untuk

memiliki lebih dari satu sumber pendapatan, yang meningkatkan ketahanan ekonomi.

3. Pengelolaan Sumber Daya Air yang Berkelanjutan

Pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan dalam pertanian sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem tanah dan memastikan ketahanan pangan jangka panjang. Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan air adalah mencegah salinisasi, yang terjadi ketika air irigasi mengandung garam yang mengendap di dalam tanah, mengurangi kesuburan tanah. Oleh karena itu, penerapan teknologi irigasi yang efisien menjadi kunci utama dalam mengoptimalkan penggunaan air tanpa merusak kualitas tanah. Salah satu sistem yang sangat efektif adalah irigasi tetes, di mana air dialirkan langsung ke akar tanaman, memungkinkan tanaman untuk mendapatkan air sesuai kebutuhan tanpa adanya pemborosan atau evaporasi yang signifikan.

Irigasi tetes mengurangi pemborosan air karena sistem ini mengontrol aliran air secara tepat, hanya mengalirkan air pada daerah akar tanaman. Dengan cara ini, penggunaan air dapat diminimalkan, mengurangi pemborosan yang sering terjadi pada sistem irigasi tradisional, seperti irigasi permukaan yang memungkinkan air menguap atau meresap ke daerah yang tidak dibutuhkan. Efisiensi ini juga mengurangi risiko penggenangan tanah yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur tanah dan memperburuk masalah salinisasi.

4. Pupuk Organik dan Kompos

Penggunaan pupuk organik dan kompos merupakan salah satu langkah kunci dalam pertanian berkelanjutan karena dapat meningkatkan kesuburan tanah secara alami tanpa merusak ekosistem tanah. Pupuk organik, yang terbuat dari bahan-bahan alami seperti limbah pertanian, kotoran hewan, dan kompos, memiliki kemampuan untuk memperbaiki struktur tanah dengan menambah kandungan bahan organik. Bahan organik ini meningkatkan daya serap tanah terhadap air dan unsur hara, serta mendorong pertumbuhan mikroorganisme tanah yang bermanfaat bagi kesehatan tanah. Berbeda dengan pupuk kimia, yang hanya memberikan unsur hara tertentu dan dapat mengakibatkan penurunan kualitas tanah jika digunakan berlebihan, pupuk organik berfungsi secara holistik dengan memperbaiki keseimbangan tanah dalam jangka panjang.

Kompos, yang merupakan salah satu bentuk pupuk organik, dibuat dari sisa-sisa tanaman dan sampah organik yang terdekomposisi. Selain menyediakan nutrisi penting bagi tanaman, kompos juga berfungsi memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan agregasi partikel tanah, yang pada gilirannya meningkatkan aerasi dan drainase tanah. Proses dekomposisi dalam kompos juga meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang dapat membantu melawan patogen tanah dan meningkatkan kesehatan tanaman. Penggunaan kompos sebagai pupuk organik telah terbukti secara signifikan meningkatkan hasil pertanian, terutama pada tanah yang kekurangan bahan organik.

5. Restorasi Lahan Degradasi

Restorasi lahan terdegradasi adalah upaya penting untuk memulihkan ekosistem yang telah rusak akibat aktivitas manusia seperti erosi, penambangan, dan penggunaan lahan yang tidak berkelanjutan. Proses restorasi ini berfokus pada pemulihan kualitas tanah dan meningkatkan fungsinya dalam mendukung pertanian dan keberagaman hayati. Salah satu teknik yang umum digunakan adalah penanaman pohon, yang dapat mengurangi erosi tanah, meningkatkan kandungan bahan organik, dan memperbaiki struktur tanah. Pohon juga membantu meningkatkan infiltrasi air dan mengurangi risiko banjir. Selain itu, pengelolaan air yang lebih baik melalui sistem irigasi yang efisien dan penyusunan ulang pola penggembalaan sangat penting dalam mendukung restorasi lahan.

Restorasi lahan juga melibatkan penerapan vegetasi penutup tanah, yang berfungsi untuk mencegah erosi dan meningkatkan kesuburan tanah. Tanaman penutup tanah seperti rumput atau leguminosa memiliki kemampuan untuk memperbaiki kandungan nitrogen dalam tanah dan mencegah hilangnya unsur hara yang vital. Penggunaan pupuk organik dalam proyek restorasi lahan juga dapat meningkatkan kualitas tanah dalam jangka panjang, karena bahan organik dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air, dan mendukung kehidupan mikroorganisme yang bermanfaat.

D. Teknologi untuk Mencegah Degradasi Lahan

Degradasi lahan adalah salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh sektor pertanian dan pengelolaan sumber daya alam. Proses degradasi lahan, yang meliputi erosi, penurunan kesuburan tanah, salinisasi, dan kerusakan ekologis lainnya, dapat mengurangi kemampuan tanah untuk mendukung pertanian yang berkelanjutan dan mengancam ketahanan pangan global. Oleh karena itu, teknologi yang efektif dan inovatif untuk mencegah degradasi lahan sangat diperlukan untuk menjaga keberlanjutan produksi pangan dan kesejahteraan ekosistem secara keseluruhan.

1. Teknologi Pengelolaan Tanah untuk Mencegah Degradasi

a. Teknologi Pengelolaan Air (Irigasi Berkelanjutan)

Pengelolaan air yang efisien sangat penting untuk mencegah degradasi lahan, terutama karena praktik irigasi yang buruk dapat menyebabkan salinisasi dan penurunan kesuburan tanah. Salah satu teknologi yang efektif dalam mengatasi masalah ini adalah sistem irigasi tetes. Sistem ini mengalirkan air langsung ke akar tanaman dengan cara yang sangat terkontrol, mengurangi pemborosan air yang sering terjadi pada metode irigasi konvensional. Dengan mengarahkan air langsung ke titik kebutuhan tanaman, teknologi ini mengurangi evaporasi dan mengoptimalkan penggunaan air, yang sangat penting di wilayah yang rawan kekeringan atau memiliki ketersediaan air yang terbatas. Selain itu, penggunaan irigasi tetes dapat mencegah pengendapan garam di permukaan tanah yang dapat merusak struktur tanah dan mengurangi produktivitas pertanian.

Teknologi irigasi subsurface, yang mengalirkan air melalui pipa yang tertanam di bawah permukaan tanah, juga merupakan solusi yang sangat efektif. Sistem ini memiliki keuntungan tambahan karena mengurangi kerugian air akibat penguapan yang biasanya terjadi pada sistem irigasi permukaan. Dengan mengalirkan air lebih dalam ke tanah, teknologi ini memastikan bahwa air disalurkan langsung ke zona akar tanaman, meningkatkan efisiensi penggunaan air dan meminimalkan kerusakan pada lapisan permukaan tanah. Ini sangat penting di daerah yang

mengalami salinisasi atau kerusakan tanah akibat pengelolaan air yang tidak efisien.

b. Teknologi Pengendalian Erosi (*Geotekstil dan Bioengineering*)

Erosi tanah merupakan salah satu ancaman terbesar bagi kualitas dan kesuburan lahan, terutama di daerah yang memiliki kemiringan tinggi. Kehilangan lapisan atas tanah yang subur dapat mengurangi kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan menurunkan hasil pertanian. Salah satu teknologi yang efektif untuk mencegah erosi adalah geotekstil. Geotekstil adalah bahan sintesis yang digunakan untuk memperkuat tanah dan mencegah aliran air yang dapat mengikis lapisan permukaan tanah. Penggunaan geotekstil pada lahan yang curam atau terpapar erosi berat dapat memberikan dukungan mekanis yang cukup untuk mempertahankan struktur tanah dan mencegah kerusakan lebih lanjut. Material ini bekerja dengan cara memperlambat aliran air dan mengurangi kecepatan erosi, yang sangat penting dalam mempertahankan kesuburan tanah jangka panjang.

Teknik bioengineering juga telah terbukti sangat efektif dalam mengendalikan erosi tanah. Bioengineering menggabungkan prinsip-prinsip ekologi dengan struktur buatan untuk menstabilkan tanah. Salah satu metode bioengineering yang populer adalah penggunaan tanaman penutup tanah, seperti rumput atau tanaman pohon, yang memiliki akar dalam dan mampu mengikat tanah dengan kuat. Tanaman ini berfungsi sebagai penghalang alami terhadap aliran air yang dapat menyebabkan erosi, sambil meningkatkan kelembaban tanah dan memperbaiki struktur tanah. Tanaman seperti rumput kikuyu dan pohon-akasia sering digunakan dalam sistem bioengineering karena kemampuannya untuk tumbuh dengan cepat dan efektif mengikat tanah.

c. Penggunaan Teknologi Pemetaan dan Penginderaan Jauh

Teknologi pemetaan dan penginderaan jauh semakin digunakan dalam pengelolaan lahan untuk memantau degradasi tanah secara lebih efisien dan akurat. Dengan memanfaatkan citra satelit dan sistem informasi geografis (SIG), para pengelola lahan dapat memantau perubahan penggunaan lahan, mendeteksi erosi, dan mengevaluasi kualitas tanah dalam waktu nyata. Penginderaan

jauh memungkinkan pengamatan area yang luas dan sulit dijangkau, memberikan data yang lebih komprehensif dibandingkan dengan pengamatan lapangan tradisional. Hal ini sangat bermanfaat dalam mengidentifikasi potensi degradasi tanah yang sering terjadi secara tersembunyi dan mengarah pada tindakan pemulihan yang lebih tepat dan cepat (Kussul *et al.*, 2017).

Salah satu keuntungan utama penggunaan teknologi ini adalah kemampuannya untuk mengidentifikasi area degradasi lahan yang tidak dapat diakses secara langsung. Citra satelit memungkinkan pemantauan perubahan dalam penggunaan lahan yang dapat menunjukkan pola erosi, kekeringan, atau perubahan lainnya yang mengindikasikan degradasi. Data ini kemudian dianalisis menggunakan SIG untuk mengidentifikasi wilayah yang membutuhkan intervensi segera, sehingga dapat memprioritaskan langkah-langkah pemulihan. Dengan adanya teknologi ini, pengelolaan lahan menjadi lebih berbasis data dan dapat dioptimalkan dengan perencanaan yang lebih matang.

2. Teknologi Pertanian Berkelanjutan yang Mendukung Pengelolaan Lahan

- a. Pertanian Konservasi dan Teknologi Minimalisasi Pembajakan
Pertanian konservasi merupakan pendekatan yang semakin penting dalam menjaga kelestarian tanah dan meningkatkan hasil pertanian secara berkelanjutan. Fokus utamanya adalah meminimalkan gangguan terhadap struktur tanah yang dapat mengarah pada erosi dan penurunan kualitas tanah. Salah satu teknologi utama dalam pertanian konservasi adalah penggunaan alat pertanian yang dirancang untuk mengurangi pembajakan tanah, seperti pemotong dan pemadat tanah. Dengan teknologi ini, gangguan terhadap lapisan atas tanah dapat diminimalkan, memungkinkan tanah tetap sehat dan lebih mampu mempertahankan kelembaban serta unsur hara.

Salah satu sistem yang paling terkenal dalam pertanian konservasi adalah no-till farming (pertanian tanpa bajak). Dalam sistem ini, tanah tidak dibajak sama sekali, dan bibit tanaman langsung ditanam di sisa tanaman yang telah dipanen. Praktik ini membantu melindungi permukaan tanah dari erosi akibat hujan

dan angin, serta meningkatkan kandungan bahan organik yang sangat penting untuk menjaga kesuburan tanah. Dengan menggunakan sisa tanaman yang tertinggal, sistem ini juga meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan air, yang mengurangi risiko kekeringan dan memastikan tanaman memiliki cadangan air yang cukup selama musim kemarau.

b. Penggunaan Tanaman Penutup Tanah dan Rotasi Tanaman

Penggunaan tanaman penutup tanah dan rotasi tanaman adalah dua teknologi yang sangat penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan dan pengelolaan lahan yang ramah lingkungan. Tanaman penutup tanah, seperti leguminosae atau tanaman kacang-kacangan, berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah. Tanaman ini memperkaya tanah dengan nitrogen, yang merupakan unsur hara vital bagi tanaman. Selain itu, tanaman penutup tanah juga menambah kandungan bahan organik, yang membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air. Selain manfaat kesuburan, tanaman penutup tanah juga membantu mencegah erosi karena akar-akarnya yang mengikat tanah, mengurangi risiko pengikisan tanah akibat air hujan atau angin. Rotasi tanaman adalah praktik lain yang sangat penting dalam pertanian berkelanjutan. Dengan mengganti jenis tanaman yang ditanam di suatu area setiap tahun, rotasi tanaman dapat membantu mempertahankan keseimbangan ekosistem tanah. Misalnya, setelah menanam tanaman yang mengonsumsi banyak nitrogen, petani bisa menanam tanaman leguminosae yang dapat memperbaiki kandungan nitrogen dalam tanah. Hal ini mengurangi kebutuhan untuk pupuk kimia yang sering digunakan dalam pertanian konvensional. Selain itu, rotasi tanaman juga mengurangi akumulasi hama dan penyakit yang dapat menyerang tanaman dengan menanam spesies yang berbeda pada tahun berikutnya.

c. Penggunaan Pupuk Organik dan Mikroba Tanah

Penggunaan tanaman penutup tanah dan rotasi tanaman adalah dua teknologi yang sangat penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan dan pengelolaan lahan yang ramah lingkungan. Tanaman penutup tanah, seperti leguminosae atau tanaman kacang-kacangan, berperan penting dalam meningkatkan

kesuburan tanah. Tanaman ini memperkaya tanah dengan nitrogen, yang merupakan unsur hara vital bagi tanaman. Selain itu, tanaman penutup tanah juga menambah kandungan bahan organik, yang membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air. Selain manfaat kesuburan, tanaman penutup tanah juga membantu mencegah erosi karena akar-akarnya yang mengikat tanah, mengurangi risiko pengikisan tanah akibat air hujan atau angin. Rotasi tanaman adalah praktik lain yang sangat penting dalam pertanian berkelanjutan. Dengan mengganti jenis tanaman yang ditanam di suatu area setiap tahun, rotasi tanaman dapat membantu mempertahankan keseimbangan ekosistem tanah. Misalnya, setelah menanam tanaman yang mengonsumsi banyak nitrogen, petani bisa menanam tanaman leguminosae yang dapat memperbaiki kandungan nitrogen dalam tanah. Hal ini mengurangi kebutuhan untuk pupuk kimia yang sering digunakan dalam pertanian konvensional. Selain itu, rotasi tanaman juga mengurangi akumulasi hama dan penyakit yang dapat menyerang tanaman dengan menanam spesies yang berbeda pada tahun berikutnya.

E. Studi Kasus Pengelolaan Lahan yang Sukses

Studi kasus pengelolaan lahan yang sukses menunjukkan bagaimana pengelolaan sumber daya alam (SDA) dapat dilakukan secara berkelanjutan, dengan mempertimbangkan faktor ekonomi, sosial, dan lingkungan. Beberapa contoh nyata menunjukkan keberhasilan dalam penerapan praktik tersebut, terutama dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan.

1. Studi Kasus BUMDes (Badan Usaha Milik Desa)

Pengelolaan sumber daya desa melalui Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) Nusantara Mandiri di Kabupaten Magelang menjadi salah satu contoh keberhasilan dalam mengintegrasikan upaya pemberdayaan masyarakat dengan pelestarian lingkungan. BUMDes ini berhasil memberdayakan petani dan nelayan dengan memberikan pelatihan, akses ke teknologi modern, serta pengelolaan sumber daya secara efisien. Strategi ini berorientasi pada peningkatan produktivitas ekonomi

sekaligus mendorong pelestarian lingkungan. Dalam konteks pelatihan, BUMDes Nusantara Mandiri memfokuskan pada penguatan kapasitas masyarakat lokal. Petani dan nelayan diberi pelatihan untuk menggunakan alat modern, seperti irigasi otomatis dan alat tangkap ikan ramah lingkungan. Upaya ini membantunya meningkatkan hasil panen dan tangkapan sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem.

Fasilitas peralatan modern yang disediakan BUMDes juga berperan penting. Misalnya, penggunaan teknologi pertanian presisi membantu petani memantau kebutuhan tanaman secara akurat, sehingga mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida kimia. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya produksi tetapi juga menurunkan risiko degradasi tanah dan pencemaran lingkungan. Di sektor perikanan, teknologi ini membantu nelayan menangkap ikan tanpa merusak ekosistem laut. Keberhasilan BUMDes Nusantara Mandiri tidak hanya terlihat dari aspek ekonomi, tetapi juga dari dampak sosialnya. Program-program yang dijalankan BUMDes ini melibatkan masyarakat secara aktif dalam pengambilan keputusan, sehingga meningkatkan rasa memiliki dan partisipasinya. Pemberdayaan komunitas lokal ini menciptakan efek domino yang meningkatkan kesejahteraan, kepercayaan diri, dan keterlibatan sosial masyarakat.

Dampak lingkungan juga menjadi fokus utama. BUMDes mendorong masyarakat untuk melakukan konservasi lingkungan, seperti menanam pohon di area kritis dan memulihkan ekosistem sungai yang rusak. Praktik ini sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan, yang mengintegrasikan kepentingan ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam satu kerangka kerja. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa model BUMDes memiliki potensi untuk diterapkan secara lebih luas. Dengan pendekatan yang adaptif dan partisipatif, BUMDes dapat menjadi platform strategis untuk mengatasi tantangan pembangunan di pedesaan. Namun, keberhasilan seperti ini juga membutuhkan dukungan kebijakan pemerintah yang konsisten serta akses kepada sumber daya dan teknologi yang memadai.

2. Pengelolaan Lahan di Indonesia Timur

Pengelolaan lahan di Indonesia Timur telah menunjukkan perkembangan signifikan, salah satunya melalui penerapan metode pertanian organik yang dikelola oleh BUMDes Makmur Sejahtera di

Banyuwangi. Inisiatif ini tidak hanya berfokus pada peningkatan kualitas hasil pertanian tetapi juga pada kesejahteraan petani lokal. Melalui pengelolaan berbasis organik, BUMDes ini berhasil mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya, sekaligus memberikan kontribusi positif terhadap pelestarian lingkungan. Metode pertanian organik yang diterapkan melibatkan penggunaan pupuk alami dan teknik bercocok tanam yang ramah lingkungan. Hal ini mendukung keberlanjutan tanah dengan menjaga kesuburannya dalam jangka panjang. Petani juga diajarkan untuk memanfaatkan limbah organik sebagai kompos, yang tidak hanya mengurangi biaya produksi tetapi juga mengurangi pencemaran lingkungan. Dengan pendekatan ini, kualitas produk pertanian meningkat, menjadikannya lebih kompetitif di pasar.

Program ini tidak hanya memberikan dampak ekonomi tetapi juga mengangkat kesadaran petani terhadap pentingnya pelestarian lingkungan. Pelatihan yang diberikan oleh BUMDes mencakup teknik bercocok tanam organik yang efektif, manajemen lahan, dan cara menjaga keseimbangan ekosistem. Selain itu, petani dilibatkan secara aktif dalam pengambilan keputusan, meningkatkan rasa memiliki terhadap program tersebut. Salah satu keberhasilan yang signifikan adalah meningkatnya pendapatan petani. Produk organik, yang memiliki nilai tambah lebih tinggi, dapat dipasarkan dengan harga premium, terutama untuk pasar domestik dan ekspor. Peningkatan ini memberikan dampak langsung terhadap kesejahteraan petani, memperbaiki kondisi sosial dan ekonomi.

Dari sisi lingkungan, metode organik terbukti mengurangi kerusakan ekosistem akibat penggunaan bahan kimia berbahaya. Pengelolaan berbasis organik juga berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca, karena meminimalkan penggunaan pupuk sintetis dan pestisida kimia yang memerlukan energi tinggi dalam proses produksinya. Keberhasilan BUMDes Makmur Sejahtera menunjukkan bahwa pengelolaan lahan berbasis organik tidak hanya relevan untuk pertanian tetapi juga menjadi model keberlanjutan yang dapat diadopsi di berbagai wilayah. Dukungan dari pemerintah daerah dan lembaga non-pemerintah turut berperan penting dalam memperluas jangkauan program ini.

3. Reklamasi Lahan Bekas Tambang Nikel

Reklamasi lahan bekas tambang nikel di Sulawesi menghadapi tantangan besar akibat degradasi tanah yang parah. Aktivitas penambangan yang intensif menyebabkan hilangnya vegetasi asli, lapisan tanah subur, dan kerusakan ekosistem. Namun, beberapa inisiatif inovatif telah diterapkan untuk memulihkan fungsi tanah dan ekosistem yang rusak. Salah satu pendekatan yang menonjol adalah penggunaan teknologi geotekstil yang dikombinasikan dengan penanaman pohon-pohon lokal. Strategi ini dirancang untuk mempercepat stabilisasi tanah, mencegah erosi, dan menciptakan lingkungan yang mendukung regenerasi ekosistem. Teknologi geotekstil digunakan untuk memperbaiki struktur tanah, yang sangat penting dalam reklamasi tambang. Material ini membantu menahan lapisan tanah agar tidak terkikis oleh air hujan, sekaligus memungkinkan penyerapan air yang lebih baik ke dalam tanah. Dalam praktik reklamasi, geotekstil sering digunakan bersama tanaman penutup tanah, seperti legum, yang memiliki kemampuan memperbaiki kandungan nitrogen di tanah.

Penanaman pohon-pohon lokal menjadi komponen kunci dalam reklamasi. Jenis-jenis tanaman yang dipilih, seperti sengon dan akasia, tidak hanya beradaptasi dengan baik terhadap kondisi tanah yang miskin nutrisi tetapi juga membantu mengembalikan keanekaragaman hayati. Vegetasi ini menyediakan habitat bagi fauna lokal dan berfungsi sebagai penyaring alami untuk memperbaiki kualitas udara dan air di sekitar lokasi bekas tambang. Praktik reklamasi ini juga melibatkan komunitas lokal untuk memastikan keberlanjutan jangka panjang. Masyarakat diajak berpartisipasi dalam penanaman dan perawatan tanaman, yang tidak hanya meningkatkan keterlibatan sosial tetapi juga memberikan peluang ekonomi baru. Sebagai contoh, hasil kayu dari pohon yang ditanam dapat dimanfaatkan untuk keperluan lokal setelah jangka waktu tertentu, tanpa mengganggu fungsi ekologisnya. Efek jangka panjang dari inisiatif ini mulai terlihat. Selain pengurangan signifikan pada tingkat erosi tanah, area bekas tambang yang direklamasi kini menunjukkan tanda-tanda regenerasi ekosistem yang menjanjikan. Burung dan satwa lain yang sebelumnya menghilang mulai kembali ke habitatnya, menandakan pemulihan keanekaragaman hayati yang berkelanjutan.

BAB IV

SISTEM PERTANIAN BERKELANJUTAN

Sistem pertanian berkelanjutan berfokus pada praktik yang tidak hanya mengoptimalkan hasil pertanian tetapi juga menjaga keseimbangan ekologis, ekonomi, dan sosial. Tujuan utamanya adalah untuk memenuhi kebutuhan pangan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan. Prinsip dasar sistem ini mencakup pengelolaan sumber daya alam yang bijaksana, penggunaan teknologi yang ramah lingkungan, dan peningkatan kesejahteraan petani serta masyarakat. Sistem pertanian berkelanjutan melibatkan integrasi berbagai pendekatan seperti agroekologi, pertanian organik, dan pertanian berbasis keanekaragaman hayati untuk menciptakan ketahanan pangan jangka panjang.

Sistem pertanian berkelanjutan tidak hanya mengandalkan teknologi canggih, tetapi juga memperhatikan peran tradisi dan budaya lokal dalam pengelolaan sumber daya alam. Misalnya, sistem pertanian berbasis agroforestri atau rotasi tanaman dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia, meningkatkan kesuburan tanah, dan mencegah erosi. Selain itu, pengelolaan air yang efisien dan penggunaan teknik konservasi tanah semakin penting untuk mempertahankan produktivitas pertanian di tengah tantangan perubahan iklim. Pada tingkat praktis, sistem pertanian berkelanjutan harus dirancang dengan memperhatikan konteks lokal. Ini termasuk mempertimbangkan kondisi geografis, ekonomi, dan sosial yang spesifik. Program pelatihan bagi petani mengenai teknik pertanian berkelanjutan, serta penerapan kebijakan yang mendukung pasar produk ramah lingkungan, menjadi kunci sukses sistem ini.

A. Konsep Agroekologi

Agroekologi adalah disiplin yang menggabungkan ilmu pertanian dengan ilmu ekologi untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dan dapat beradaptasi dengan perubahan iklim. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan pertanian, seperti

Miguel Altieri, yang menekankan pentingnya untuk melihat pertanian sebagai bagian dari ekosistem yang lebih besar dan bukan sebagai sistem terpisah dari alam sekitar. Agroekologi bukan hanya tentang teknik pertanian, tetapi juga tentang bagaimana sistem tersebut berinteraksi dengan masyarakat, ekonomi, dan lingkungan secara holistik.

1. Agroekologi dan Keberlanjutan

Agroekologi merupakan pendekatan yang semakin diakui sebagai kunci dalam mewujudkan pertanian berkelanjutan. Pendekatan ini menekankan pentingnya sistem pertanian yang tidak hanya menghasilkan dalam jangka pendek, tetapi juga mempertimbangkan pemeliharaan sumber daya alam untuk generasi yang akan datang. Agroekologi mengadopsi prinsip-prinsip yang bersifat holistik dan integratif, dengan melihat pertanian sebagai suatu sistem yang terdiri dari hubungan yang saling terhubung antara manusia, tanaman, hewan, dan lingkungan. Pendekatan ini mengurangi ketergantungan pada input eksternal, seperti pupuk kimia dan pestisida, yang dapat merusak ekosistem tanah dan mengancam keberlanjutan pertanian jangka panjang.

Salah satu keuntungan utama dari agroekologi adalah mengurangi ketergantungan pada teknologi dan input mahal yang sering digunakan dalam pertanian konvensional. Dengan lebih mengutamakan pengetahuan lokal dan teknik pertanian tradisional, agroekologi mengarah pada peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya alam yang tersedia secara alami, seperti air dan bahan organik. Teknik-teknik seperti rotasi tanaman, penggunaan tanaman penutup tanah, dan pertanian tanpa bajak (*no-till*) adalah beberapa contoh praktik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Teknik-teknik ini juga berkontribusi pada peningkatan kesuburan tanah dan perlindungan terhadap keanekaragaman hayati.

2. Praktik Agroekologi dalam Konteks Global

Agroekologi telah diterapkan secara luas di berbagai bagian dunia, dengan hasil yang bervariasi tergantung pada konteks lokal dan tantangan yang dihadapi petani. Di Amerika Latin, agroekologi telah memberikan manfaat besar dalam hal ketahanan tanah dan ketahanan pangan. Di Brasil, misalnya, petani menggunakan teknik agroekologi untuk meningkatkan keberagaman hayati dan mengurangi

ketergantungan pada pestisida kimia. Pendekatan ini, yang melibatkan penggunaan tanaman penutup tanah, rotasi tanaman, dan sistem agroforestry, terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas tanah, mengurangi erosi, dan menghasilkan hasil pertanian yang lebih tahan terhadap perubahan iklim, termasuk kekeringan.

Di negara-negara berkembang lainnya, agroekologi telah menjadi alat penting untuk mengurangi ketergantungan pada input eksternal yang mahal, seperti pupuk dan pestisida kimia, yang seringkali merusak ekosistem. Di Afrika, misalnya, teknik agroekologi digunakan untuk meningkatkan ketahanan pangan di wilayah yang rentan terhadap perubahan iklim. Di Kenya, para petani menerapkan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dengan fokus pada pengelolaan air yang efisien dan penggunaan tanaman penutup tanah untuk melindungi struktur tanah dan meningkatkan hasil pertanian meskipun menghadapi kekeringan yang sering terjadi.

3. Agroekologi dan Sistem Pertanian Berkelanjutan di Indonesia

Di Indonesia, agroekologi mulai mendapatkan perhatian sebagai pendekatan pertanian berkelanjutan, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan kerusakan lingkungan akibat pertanian konvensional. Di berbagai daerah, seperti Bali, Jawa, dan Sumatra, petani telah mulai mengadopsi teknik agroekologi, termasuk pertanian organik, rotasi tanaman, dan penggunaan pestisida alami, untuk meningkatkan hasil pertanian sekaligus menjaga keseimbangan ekosistem. Agroekologi ini terbukti mampu meningkatkan keberagaman hayati dan mengurangi ketergantungan pada input kimia yang merusak tanah dan lingkungan.

Penerapan agroekologi di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satunya adalah kurangnya akses terhadap pengetahuan dan teknologi yang diperlukan untuk mendukung praktik pertanian yang ramah lingkungan. Banyak petani yang masih mengandalkan metode pertanian konvensional yang bergantung pada penggunaan pupuk dan pestisida kimia. Keadaan ini menyebabkan ketergantungan yang tinggi terhadap bahan kimia, yang pada gilirannya dapat merusak kualitas tanah dan air, serta mengurangi keragaman hayati di kawasan pertanian.

4. Keberlanjutan Sosial dan Ekonomi dalam Agroekologi

Agroekologi tidak hanya berfokus pada keberlanjutan lingkungan dan produktivitas pertanian, tetapi juga pada aspek keberlanjutan sosial dan ekonomi bagi petani. Dalam sistem pertanian konvensional, petani sering kali bergantung pada input eksternal yang mahal dan terancam ketidakstabilan ekonomi. Sebaliknya, agroekologi memprioritaskan kesejahteraan sosial petani dengan memperhatikan hak-haknya atas tanah, akses ke pasar yang lebih adil, dan pemberdayaan dalam pengambilan keputusan terkait kebijakan pertanian. Dengan pendekatan ini, petani kecil dapat merasakan manfaat langsung, tidak hanya dalam aspek ekonomi, tetapi juga dalam memperkuat posisi sosial dalam sistem pertanian.

Penerapan agroekologi berpotensi mengurangi ketimpangan ekonomi dengan menciptakan peluang pasar yang lebih setara bagi petani kecil. Sistem agroekologi yang berbasis pada teknik pertanian yang lebih alami dan lokal, mengurangi ketergantungan petani pada perusahaan besar yang mendominasi pasar dan distribusi input pertanian. Hal ini juga memungkinkan petani untuk lebih mandiri dalam mengelola sumber daya alam, seperti air dan tanah, yang sebelumnya sering kali dikuasai oleh pihak luar. Sebagai hasilnya, agroekologi membantu menciptakan sistem pertanian yang lebih adil, di mana petani dapat memperoleh keuntungan yang lebih besar dari hasil pertanian.

5. Agroekologi dan Kebijakan Pertanian

Kebijakan pertanian berperan kunci dalam mendukung penerapan agroekologi sebagai pendekatan berkelanjutan dalam sektor pertanian. Sebagian besar kebijakan pertanian yang ada saat ini lebih fokus pada peningkatan produksi besar-besaran dan penggunaan input kimiawi yang berisiko merusak lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk merancang kebijakan yang mengarah pada perubahan sistem pertanian menuju praktik yang lebih ramah lingkungan dan berbasis pada prinsip-prinsip agroekologi. Kebijakan yang mendukung agroekologi dapat meliputi insentif bagi petani yang beralih ke pertanian organik, pengurangan subsidi untuk bahan kimia sintetis, serta dukungan untuk penelitian dan pengembangan teknologi yang ramah lingkungan.

Beberapa negara telah mulai mengimplementasikan kebijakan yang mendukung agroekologi, termasuk pengenalan insentif untuk petani yang menerapkan teknik pertanian organik atau konservasi tanah. Misalnya, beberapa negara Eropa telah mengalokasikan dana untuk

subsidi yang mendukung pertanian berkelanjutan dan sistem pertanian berbasis agroekologi. Dengan adanya kebijakan ini, petani dapat lebih termotivasi untuk mengadopsi praktik yang lebih ramah lingkungan, seperti penggunaan pupuk organik, rotasi tanaman, dan konservasi tanah. Selain itu, kebijakan ini juga memberikan perlindungan terhadap keberagaman hayati, yang menjadi salah satu prinsip utama agroekologi.

B. Pertanian Organik sebagai Solusi Berkelanjutan

Pertanian organik dapat didefinisikan sebagai metode produksi pertanian yang menghindari penggunaan bahan kimia sintetis, seperti pestisida, herbisida, dan pupuk anorganik, serta mengandalkan proses alami dan metode ramah lingkungan untuk meningkatkan kualitas tanah dan hasil pertanian. Salah satu manfaat utama pertanian organik adalah dampaknya yang lebih kecil terhadap lingkungan dibandingkan dengan pertanian konvensional. Penggunaan bahan kimia sintetis dalam pertanian konvensional sering kali menyebabkan pencemaran tanah, air, dan udara, serta merusak keanekaragaman hayati. Di sisi lain, pertanian organik memiliki beberapa keuntungan lingkungan yang signifikan:

1. Pengurangan Pencemaran Kimia

Pertanian organik berperan penting dalam mengurangi pencemaran kimia yang sering disebabkan oleh penggunaan bahan kimia sintetis dalam pertanian konvensional. Pupuk dan pestisida kimia yang digunakan dalam pertanian konvensional dapat mencemari tanah dan air, merusak ekosistem, dan membahayakan organisme non-target seperti serangga, hewan, dan mikroorganisme tanah. Penggunaan pestisida sintetis juga dapat menyebabkan penurunan keragaman hayati, karena racun kimia ini mengganggu keseimbangan alam dan mengurangi jumlah spesies yang ada di lingkungan pertanian (Gliessman, 2021).

Dengan beralih ke pertanian organik, petani mengurangi atau bahkan menghilangkan penggunaan bahan kimia berbahaya ini. Sebagai penggantinya, pertanian organik mengutamakan bahan-bahan alami seperti kompos, pupuk hijau, dan pestisida alami yang lebih ramah lingkungan. Praktik ini tidak hanya mengurangi pencemaran tanah dan air tetapi juga membantu meningkatkan kesuburan tanah secara alami, karena bahan organik yang digunakan dalam pertanian organik

meningkatkan struktur tanah, memfasilitasi drainase yang lebih baik, dan meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air.

2. Perbaikan Kualitas Tanah

Perbaikan kualitas tanah merupakan salah satu manfaat utama dari teknik pertanian berkelanjutan, seperti penggunaan kompos dan penanaman tanaman penutup. Penggunaan kompos, yang terbuat dari bahan organik seperti sisa tanaman, kotoran hewan, dan bahan alami lainnya, dapat meningkatkan struktur tanah secara signifikan. Kompos menambah kandungan bahan organik tanah, yang memperbaiki tekstur tanah dan meningkatkan kapasitas tanah untuk menyerap air. Penggunaan kompos dapat meningkatkan porositas tanah dan meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan air, sehingga tanaman lebih tahan terhadap kekeringan.

Penanaman tanaman penutup, seperti leguminosae, juga berperan penting dalam perbaikan kualitas tanah. Tanaman penutup ini tidak hanya menambah bahan organik ke dalam tanah, tetapi juga meningkatkan kandungan nitrogen, yang penting untuk kesuburan tanah. Tanaman penutup membantu mencegah erosi tanah dengan melindungi permukaan tanah dari angin dan hujan yang dapat menyebabkan degradasi tanah. Tanaman penutup yang tumbuh rapat di permukaan tanah mengurangi run-off air dan memperbaiki retensi air dalam tanah.

3. Konservasi Air

Konservasi air dalam pertanian organik merupakan salah satu manfaat utama dari pengelolaan tanah yang lebih baik. Dengan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia dan meningkatkan kualitas tanah, teknik pertanian organik dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan air, yang penting dalam menjaga ketahanan pangan, terutama di daerah yang rentan terhadap kekeringan. Penggunaan kompos dan bahan organik lainnya menambah kapasitas retensi air tanah, yang membantu menjaga kelembaban tanah lebih lama, sehingga mengurangi kebutuhan akan irigasi yang berlebihan (Gliessman, 2021).

Salah satu teknik yang digunakan dalam pertanian organik untuk konservasi air adalah penanaman tanaman penutup. Tanaman ini, seperti leguminosae, tidak hanya berfungsi untuk melindungi tanah dari erosi, tetapi juga meningkatkan struktur tanah, yang mempengaruhi

kemampuannya untuk menyerap dan menahan air. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan tanaman penutup dapat mengurangi evaporasi air dari permukaan tanah dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, sehingga memperbaiki sistem pengelolaan air secara keseluruhan.

C. Agroforestry dan Sistem Pertanian Terintegrasi

Agroforestry, atau sistem pertanian hutan, adalah praktik pengelolaan lahan yang menggabungkan pohon atau tanaman keras dengan tanaman pertanian dan/atau peternakan di dalam suatu sistem yang saling menguntungkan. Sistem ini memanfaatkan interaksi positif antara komponen tanaman, hewan, dan tanah untuk menghasilkan keuntungan ekologis, ekonomi, dan sosial yang berkelanjutan. Agroforestry mencakup berbagai praktik yang melibatkan penanaman pohon bersama dengan tanaman pertanian dan ternak dalam suatu unit ruang yang terbuka. Selanjutnya, sistem pertanian terintegrasi adalah pendekatan yang menggabungkan berbagai komponen pertanian (tanaman, ternak, perikanan) dalam satu unit usaha pertanian yang saling mendukung. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk meningkatkan efisiensi sumber daya, mengurangi limbah, dan memperbaiki kesejahteraan petani melalui sinergi antara komponen-komponen pertanian. Sistem pertanian terintegrasi dapat mencakup beberapa bentuk, di antaranya:

1. Pertanian-Ternak Terintegrasi (ITF)

Pertanian-ternak terintegrasi (ITF) merupakan sistem pertanian yang menggabungkan usaha pertanian dengan peternakan dalam satu kesatuan yang saling menguntungkan. Salah satu manfaat utama dari sistem ini adalah efisiensi dalam penggunaan sumber daya. Kotoran ternak, misalnya, dapat dimanfaatkan sebagai pupuk alami yang kaya akan unsur hara, yang dapat meningkatkan kesuburan tanah. Sebaliknya, tanaman dapat menyediakan pakan atau perlindungan bagi ternak, menciptakan siklus yang berkelanjutan dalam satu sistem.

Pada sistem ITF, keberadaan tanaman dan ternak saling mendukung. Ternak dapat memakan tanaman yang tidak diperlukan, sementara tanaman dapat memberikan perlindungan terhadap ternak, seperti mengurangi paparan sinar matahari langsung atau cuaca buruk.

Misalnya, tanaman jagung dapat ditanam di sekitar kandang ternak untuk memberikan teduh atau sebagai pakan. Dengan cara ini, produksi pertanian dan peternakan dapat meningkat tanpa memerlukan tambahan lahan yang signifikan, sehingga mengurangi tekanan pada lahan pertanian yang terbatas.

2. Perikanan-Agrikultur Terintegrasi (IAF)

Perikanan-agrikultur terintegrasi (IAF) adalah sistem yang menggabungkan budidaya tanaman dengan budidaya ikan dalam satu kesatuan yang saling mendukung. Dalam sistem ini, limbah dari budidaya ikan, yang kaya akan unsur hara seperti nitrogen dan fosfor, digunakan untuk memperkaya tanah pertanian. Limbah ikan yang terkumpul di kolam atau sistem akuakultur lainnya dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk tanaman, meningkatkan kesuburan tanah tanpa perlu bahan kimia tambahan. Dengan demikian, IAF membantu menurunkan biaya produksi pertanian sekaligus mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan.

Sistem IAF juga memberikan manfaat untuk budidaya ikan. Pertanian menyediakan pakan alami bagi ikan, seperti sisa tanaman atau limbah pertanian yang dapat digunakan untuk memberi makan ikan. Misalnya, tanaman seperti jagung atau kacang-kacangan dapat digunakan sebagai pakan tambahan untuk ikan dalam sistem perikanan terintegrasi. Dengan mengurangi ketergantungan pada pakan buatan atau sumber pakan eksternal, IAF menciptakan sirkulasi sumber daya yang lebih efisien, meningkatkan ketahanan pangan, dan mengurangi dampak lingkungan.

3. Agroforestry-Agrikultur Terintegrasi (AFI)

Agroforestry-Agrikultur Terintegrasi (AFI) adalah pendekatan yang menggabungkan sistem pertanian konvensional dengan praktik agroforestry, yang melibatkan penanaman pohon secara terintegrasi dengan tanaman pertanian. Sistem ini memberikan banyak manfaat ekologis, sosial, dan ekonomi. Salah satu keuntungan utama dari AFI adalah kemampuannya untuk mengatur iklim mikro di sekitar tanaman pertanian. Pohon-pohon yang ditanam dalam sistem agroforestry dapat memberikan naungan dan perlindungan terhadap tanaman pertanian dari suhu ekstrem, baik panas berlebihan di musim panas maupun dingin di musim hujan. Selain itu, pohon juga berperan penting dalam mengurangi

angin kencang yang dapat merusak tanaman, menciptakan lingkungan yang lebih stabil dan menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman.

Pohon dalam sistem agroforestry dapat berfungsi sebagai pelindung alami terhadap hama dan penyakit tanaman. Pohon-pohon tertentu, seperti pohon legum, dapat membantu memperkaya tanah dengan nitrogen, yang sangat dibutuhkan oleh tanaman pertanian. Pohon juga dapat bertindak sebagai penghalang fisik yang mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh hama atau serangga, serta melindungi tanaman dari dampak bencana alam seperti banjir atau tanah longsor. Dengan demikian, AFI mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan mengurangi risiko kerusakan tanaman akibat serangan hama.

D. Diversifikasi Tanaman dan Ketahanan Pangan

Diversifikasi tanaman merupakan salah satu kunci penting dalam menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan dan dapat meningkatkan ketahanan pangan. Dalam menghadapi tantangan yang semakin kompleks, seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan fluktuasi harga pangan, diversifikasi tanaman dapat memberikan solusi untuk memastikan keberlanjutan produksi pangan, meningkatkan pendapatan petani, dan menjaga kestabilan ekosistem. Diversifikasi tanaman merujuk pada praktik menanam berbagai jenis tanaman di dalam satu sistem pertanian, baik secara vertikal maupun horizontal, untuk mengurangi ketergantungan pada satu jenis tanaman. Ketahanan pangan adalah kondisi di mana semua orang memiliki akses fisik dan ekonomi terhadap pangan yang cukup, bergizi, dan aman untuk memenuhi kebutuhan diet sehari-hari. Diversifikasi tanaman berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan karena beberapa alasan berikut: Diversifikasi tanaman tidak hanya memberikan manfaat dari segi ketahanan pangan, tetapi juga berdampak positif pada aspek ekologis dan ekonomi. Berbagai model diversifikasi tanaman telah dikembangkan untuk mencapai ketahanan pangan yang lebih baik dan mendukung pertanian berkelanjutan. Beberapa model yang telah terbukti berhasil di berbagai belahan dunia antara lain:

1. Tumpang Sari (*Intercropping*)

Tumpang sari, atau *intercropping*, adalah teknik pertanian yang melibatkan penanaman dua atau lebih tanaman berbeda dalam satu lahan

pada waktu yang bersamaan. Pendekatan ini memungkinkan petani untuk memanfaatkan sumber daya alam seperti sinar matahari, air, dan nutrisi tanah secara lebih efisien. Salah satu contoh tumpang sari yang umum adalah menanam jagung bersama dengan kedelai atau kacang-kacangan. Dengan cara ini, kedua tanaman dapat saling mendukung dalam hal pemanfaatan ruang dan mengurangi tekanan terhadap sumber daya yang tersedia.

Tumpang sari memiliki banyak manfaat, terutama dalam hal meningkatkan produktivitas tanah. Tanaman yang ditanam secara bersamaan dapat saling melengkapi dalam penggunaan sumber daya. Sebagai contoh, tanaman jagung yang tinggi dapat memberikan naungan bagi tanaman kedelai atau kacang yang lebih rendah. Hal ini tidak hanya mengurangi risiko tanaman terpapar suhu ekstrem, tetapi juga meningkatkan ketahanan terhadap hama dan penyakit. Selain itu, kedelai atau kacang-kacangan dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui proses fiksasi nitrogen, yang bermanfaat bagi tanaman jagung.

2. Rotasi Tanaman (*Crop Rotation*)

Rotasi tanaman, atau *crop rotation*, adalah teknik pertanian yang melibatkan penanaman berbagai jenis tanaman secara bergantian di lahan yang sama dalam siklus tahunan. Teknik ini telah digunakan selama berabad-abad untuk menjaga keberlanjutan tanah dan meningkatkan hasil pertanian. Salah satu manfaat utama rotasi tanaman adalah pengurangan risiko penurunan kesuburan tanah. Tanaman yang berbeda memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda, dan dengan mengganti jenis tanaman setiap tahun, tanah tidak hanya dapat memanfaatkan nutrisi yang ada secara lebih optimal, tetapi juga menghindari kekurangan atau kelebihan unsur hara tertentu.

Rotasi tanaman juga efektif dalam mengendalikan serangan hama dan penyakit. Beberapa hama dan patogen hanya dapat menyerang tanaman tertentu, dan dengan mengganti tanaman secara teratur, kita dapat memutus siklus hidup hama dan patogen tersebut. Sebagai contoh, jika tanaman tertentu rentan terhadap hama atau penyakit, rotasi tanaman memungkinkan tanaman yang kurang rentan untuk menggantikan tanaman yang telah diserang, sehingga mengurangi kerugian akibat hama. Dengan cara ini, rotasi tanaman juga mengurangi kebutuhan akan pestisida kimia, yang berbahaya bagi lingkungan.

E. Integrasi Teknologi dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan merupakan salah satu kunci utama untuk memenuhi kebutuhan pangan yang terus berkembang di dunia ini, sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Dalam konteks ini, integrasi teknologi berperan penting dalam meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan ketahanan sistem pertanian terhadap berbagai tantangan, seperti perubahan iklim, penurunan kualitas tanah, dan keterbatasan sumber daya alam. Teknologi pertanian yang inovatif tidak hanya membantu meningkatkan produktivitas, tetapi juga mendukung prinsip keberlanjutan yang mengutamakan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Pertanian berkelanjutan bertujuan untuk meningkatkan produktivitas pangan secara efektif tanpa merusak lingkungan dan ekosistem. Namun, tantangan global seperti meningkatnya populasi, perubahan iklim, dan keterbatasan lahan pertanian membuat pencapaian tujuan tersebut semakin kompleks. Teknologi menjadi solusi yang sangat diperlukan untuk mengatasi masalah ini. Teknologi dalam pertanian tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan meningkatkan ketahanan pangan. Integrasi teknologi dalam pertanian berkelanjutan dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, mulai dari alat pertanian yang lebih efisien hingga sistem informasi yang mendukung pengambilan keputusan yang berbasis data. Beberapa teknologi utama yang berkontribusi terhadap sistem pertanian berkelanjutan antara lain:

1. Teknologi Pertanian Presisi (*Precision Agriculture*)

Pertanian presisi adalah pendekatan inovatif dalam pertanian yang mengintegrasikan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan produksi pertanian. Dengan menggunakan sensor, sistem pemantauan, dan analisis data, teknologi ini memungkinkan petani untuk memantau kondisi tanah, tanaman, dan iklim secara real-time. Misalnya, teknologi GPS dan drone dapat digunakan untuk memetakan dan memantau lahan secara lebih rinci, sehingga petani dapat membuat keputusan yang lebih tepat mengenai waktu dan jumlah penggunaan air, pupuk, dan pestisida di tiap area. Hal ini memungkinkan

penggunaan sumber daya yang lebih efisien dan mengurangi pemborosan (Oliver *et al.*, 2018).

Keuntungan utama dari pertanian presisi adalah pengurangan penggunaan input yang berlebihan, seperti pestisida dan pupuk. Dengan mengidentifikasi kebutuhan spesifik tanaman dan tanah, petani dapat mengoptimalkan penggunaan bahan kimia, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan mengurangi biaya operasional. Sebagai contoh, aplikasi pupuk dan pestisida hanya dilakukan pada area yang membutuhkan, bukan pada seluruh lahan, sehingga mengurangi risiko pencemaran tanah dan air.

2. Sistem Irigasi Cerdas (*Smart Irrigation Systems*)

Sistem irigasi cerdas (*Smart Irrigation Systems*) telah menjadi inovasi penting dalam pengelolaan air di pertanian, terutama di daerah yang rentan terhadap kekeringan. Sistem ini memanfaatkan sensor dan otomatisasi untuk mengatur pengairan secara efisien sesuai dengan kebutuhan tanaman. Dengan memanfaatkan data real-time dari sensor kelembaban tanah, data cuaca, serta informasi spesifik tentang tanaman, sistem ini dapat mengoptimalkan penggunaan air. Sebagai contoh, jika tanah sudah cukup lembab, sistem otomatis akan mengurangi atau bahkan menghentikan aliran air, sehingga menghindari pemborosan yang tidak perlu (Casadei *et al.*, 2021).

Penerapan teknologi ini secara signifikan mengurangi penggunaan air berlebihan, yang sering terjadi pada sistem irigasi konvensional yang tidak mengakomodasi variabilitas kondisi tanah dan cuaca. Dengan adanya sensor kelembaban tanah dan prakiraan cuaca, sistem irigasi cerdas dapat menyesuaikan jadwal pengairan dan jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman secara tepat waktu. Hal ini memastikan bahwa tanaman mendapatkan air yang cukup untuk tumbuh dengan optimal, tanpa menyebabkan pemborosan air, terutama di daerah yang menghadapi tantangan terkait ketahanan air.

3. Bioteknologi dan Rekayasa Genetika

Bioteknologi dan rekayasa genetika telah membawa perubahan besar dalam dunia pertanian, memberikan solusi untuk tantangan yang dihadapi oleh para petani. Teknologi ini memungkinkan modifikasi genetik pada tanaman untuk menghasilkan varietas yang lebih tahan terhadap penyakit, hama, dan perubahan iklim. Sebagai contoh, tanaman

seperti jagung dan kedelai dapat direkayasa untuk tahan terhadap herbisida atau lebih tahan terhadap kekeringan. Ini tidak hanya meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan tetapi juga memungkinkan peningkatan hasil produksi di daerah dengan kondisi yang kurang mendukung (Singh & Mondal, 2017).

Salah satu keuntungan utama dari rekayasa genetika adalah pengurangan ketergantungan pada pestisida kimia. Tanaman transgenik yang tahan terhadap hama atau herbisida mengurangi kebutuhan akan penggunaan pestisida, yang dapat merusak lingkungan dan mengurangi keberagaman hayati. Dengan demikian, bioteknologi dapat berperan dalam pertanian berkelanjutan dengan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Tanaman yang lebih efisien dalam hal penggunaan air atau nutrisi juga dapat membantu mengurangi jejak ekologis pertanian.

4. Drones dan Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Drones dan penginderaan jauh (*remote sensing*) semakin menjadi alat penting dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. Drones dilengkapi dengan berbagai kamera dan sensor yang memungkinkan pengambilan gambar secara real-time dari lahan pertanian. Teknologi ini dapat mendeteksi perubahan kondisi tanaman dan tanah, seperti kekurangan air atau penyakit yang sedang berkembang. Dengan data visual dan spektral yang dihasilkan, petani dapat memperoleh gambaran yang lebih jelas tentang kesehatan tanaman, yang mempermudah dalam pengambilan keputusan yang cepat dan tepat (Martos *et al.*, 2021).

Penginderaan jauh memungkinkan pemantauan lahan secara lebih luas dan mendalam. Petani dapat memetakan lahannya untuk mengetahui variasi kondisi tanah dan tanaman di berbagai area. Informasi ini membantu dalam merencanakan strategi pertanian, seperti menentukan area yang membutuhkan lebih banyak perhatian atau irigasi tambahan. Melalui analisis data yang lebih akurat, petani dapat meningkatkan hasil panen dengan cara yang lebih terukur, serta mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam seperti air dan pupuk.

5. Sistem Manajemen dan Analisis Data (Big Data and AI)

Sistem manajemen dan analisis data yang menggunakan big data dan kecerdasan buatan (AI) berperan penting dalam meningkatkan

pertanian berkelanjutan. Dalam konteks ini, teknologi ini memungkinkan petani untuk mengumpulkan dan menganalisis data dalam jumlah besar yang dihasilkan oleh berbagai alat, seperti sensor tanah, drone, dan sistem irigasi cerdas. Dengan menggunakan data yang sangat kaya dan beragam, petani dapat memahami kondisi tanah, kebutuhan air, dan kesehatan tanaman dengan lebih mendalam, yang memudahkannya untuk membuat keputusan yang lebih informasional dan tepat waktu dalam mengelola lahan pertanian (Rao *et al.*, 2021).

Big data dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola cuaca yang dapat mempengaruhi hasil panen, seperti curah hujan yang tidak terduga atau musim kemarau yang lebih lama dari biasanya. Dengan menganalisis data meteorologi yang besar, petani dapat meramalkan cuaca ekstrem dan menyesuaikan strategi pertanian untuk meminimalkan kerugian yang disebabkan oleh perubahan iklim yang cepat. Misalnya, petani dapat memodifikasi waktu tanam atau memilih varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem, yang dapat meningkatkan ketahanan pertanian terhadap perubahan iklim.

Kecerdasan buatan (AI) juga dapat membantu dalam meramalkan hasil panen dengan lebih akurat. Dengan memproses data historis dan data real-time, AI dapat mengidentifikasi tren dalam hasil panen dan memberikan prediksi yang lebih akurat mengenai potensi produksi. Selain itu, AI dapat mengoptimalkan jadwal tanam dan pemupukan, yang memungkinkan petani untuk menggunakan sumber daya seperti air dan pupuk secara lebih efisien, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan hasil secara keseluruhan.

BAB V

BIODIVERSITAS DALAM PERTANIAN

Biodiversitas berperan penting dalam pertanian berkelanjutan, karena keberagaman spesies tanaman dan hewan mendukung kesehatan ekosistem pertanian dan ketahanan pangan. Keberagaman biologis dalam sistem pertanian, termasuk berbagai varietas tanaman, mikroorganisme tanah, dan hewan, membantu mempertahankan keseimbangan ekosistem yang esensial untuk pengendalian hama alami, pemupukan tanah, dan peningkatan ketahanan terhadap penyakit serta perubahan iklim. Dalam konteks pertanian, konservasi biodiversitas dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti agroforestry, pertanian organik, dan sistem rotasi tanaman. Pendekatan-pendekatan ini bertujuan untuk menjaga keseimbangan alami antara aktivitas pertanian dan lingkungan sekitarnya, yang dapat meningkatkan hasil jangka panjang dengan meminimalkan degradasi tanah dan mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya. Keberagaman hayati juga mendukung sistem pertanian yang lebih resilien, dengan membantu adaptasi terhadap tekanan lingkungan seperti perubahan iklim dan fluktuasi pasar global.

A. Peran Biodiversitas dalam Keberlanjutan Pertanian

Biodiversitas, atau keberagaman hayati, merupakan fondasi yang sangat penting dalam sistem pertanian berkelanjutan. Keanekaragaman hayati tidak hanya mencakup variasi spesies tanaman dan hewan, tetapi juga mencakup keberagaman genetik dan ekosistem yang mendukung kehidupan tersebut. Dalam konteks pertanian, biodiversitas memiliki peran sentral dalam menjaga ketahanan sistem pertanian, meningkatkan produktivitas, serta mendukung pemeliharaan kualitas tanah dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

1. Biodiversitas dan Ketahanan Pangan

Biodiversitas berperan penting dalam ketahanan pangan global, karena keberagaman spesies tanaman dan varietasnya dapat meningkatkan ketahanan terhadap berbagai tantangan yang dihadapi oleh sistem pertanian. Ketergantungan pada sejumlah spesies tanaman atau varietas yang terbatas dapat menyebabkan kerentanannya terhadap perubahan iklim, serangan hama, atau penyakit tanaman. Misalnya, dalam situasi perubahan iklim yang tidak terduga, varietas tanaman yang memiliki sifat adaptasi yang lebih baik terhadap suhu ekstrem atau kekeringan dapat menjadi solusi penting. Oleh karena itu, keberagaman genetik dalam pertanian, terutama dengan penggunaan varietas lokal yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan tertentu, sangat mendukung ketahanan pangan (Pretty *et al.*, 2018).

Penggunaan varietas tanaman yang lebih beragam dapat meningkatkan kemampuan petani untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang cepat. Beberapa varietas tanaman memiliki ketahanan terhadap kekeringan, salinitas tanah, atau bahkan serangan hama tertentu yang seringkali merusak hasil panen. Dengan memiliki berbagai pilihan tanaman yang bisa berkembang di berbagai kondisi, petani dapat mengurangi risiko kegagalan panen yang diakibatkan oleh fluktuasi cuaca atau serangan patogen. Oleh karena itu, keberagaman tanaman dapat memperkuat ketahanan pangan di tingkat lokal dan global.

2. Pengendalian Hama dan Penyakit

Biodiversitas dalam pertanian berperan penting dalam pengendalian hama dan penyakit secara alami, membantu menciptakan ekosistem yang lebih seimbang dan mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia. Keberagaman hayati mendukung keberadaan spesies yang bermanfaat seperti predator alami, parasit, dan mikroorganisme tanah, yang secara alami mengendalikan populasi hama dan patogen tanpa membahayakan lingkungan atau kesehatan manusia. Konsep ini dikenal sebagai pengendalian hayati, yang memanfaatkan mekanisme alam untuk menjaga keseimbangan ekosistem pertanian (Altieri, 2018).

Salah satu cara penerapan biodiversitas dalam pengendalian hama adalah dengan menggunakan tanaman pendamping atau tanaman repelen yang dapat mengusir hama tertentu. Tanaman seperti marigold (*Tagetes spp.*) dan bawang putih (*Allium sativum*) diketahui memiliki sifat yang dapat mengusir berbagai jenis serangga pengganggu. Tanaman

tersebut mengeluarkan senyawa alami yang berfungsi sebagai pestisida alami, sehingga mengurangi kebutuhan akan bahan kimia. Selain itu, penanaman berbagai jenis tanaman dalam satu area memberikan keanekaragaman yang mengundang kedatangan predator alami seperti serangga pemangsa hama, burung, dan kelelawar, yang berperan dalam mengendalikan populasi hama secara alami.

3. Agroekosistem dan Keberagaman Hayati

Agroekosistem adalah sistem pertanian yang mengintegrasikan prinsip-prinsip keberagaman hayati dengan cara yang ramah lingkungan, dan pendekatan ini berfokus pada pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Dalam agroekologi, pertanian dianggap sebagai bagian dari ekosistem yang lebih luas, di mana interaksi antara tanaman, hewan, tanah, dan lingkungan lainnya diperhitungkan untuk mendukung keberlanjutan. Konsep ini menekankan pentingnya mengelola keanekaragaman hayati yang ada di dalam agroekosistem, seperti tanaman penutup tanah, tanaman pemangsa hama, dan mikroorganisme tanah yang mendukung kesuburan tanah (Altieri, 2018).

Keberagaman hayati dalam agroekosistem memiliki peran penting dalam meningkatkan ketahanan pertanian terhadap gangguan eksternal. Tanaman yang beragam dapat lebih tahan terhadap cuaca ekstrem, seperti kekeringan atau hujan lebat, karena beberapa varietas lebih tahan terhadap kondisi tertentu. Selain itu, keanekaragaman tanaman dapat mengurangi kerentanannya terhadap serangan hama dan penyakit. Misalnya, tanaman yang berbeda dapat memiliki ketahanan alami terhadap berbagai jenis patogen atau serangga, sehingga mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia.

B. Pengaruh Monokultur terhadap Keanekaragaman Hayati

Monokultur adalah praktik pertanian yang melibatkan penanaman satu jenis tanaman dalam area yang luas dan berulang setiap musim tanam. Meskipun sistem ini memberikan efisiensi dalam hal pengelolaan tanaman dan pemupukan, serta memungkinkan mekanisasi yang lebih mudah, monokultur memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap keanekaragaman hayati. Pengaruh ini dapat tercermin dalam berbagai aspek, mulai dari penurunan keragaman spesies tanaman dan mikroorganisme tanah, hingga degradasi ekosistem yang lebih luas.

1. Penurunan Keragaman Tanaman

Monokultur, atau penanaman satu jenis tanaman dalam skala besar, dapat menyebabkan penurunan keragaman spesies tanaman dalam sebuah ekosistem pertanian. Praktik ini mengurangi keberagaman tanaman yang tumbuh secara alami di area tersebut, yang berdampak pada hilangnya spesies tanaman yang mungkin memiliki manfaat ekonomi atau ekologis. Misalnya, tanaman lain yang memiliki potensi untuk memperbaiki kualitas tanah atau bertindak sebagai penahan erosi mungkin terabaikan, mengurangi keseimbangan alami dalam ekosistem pertanian (Foley *et al.*, 2011).

Salah satu alasan utama diterapkannya monokultur adalah permintaan pasar dan potensi keuntungan jangka pendek. Dengan menanam satu jenis tanaman dalam jumlah besar, petani berharap dapat memenuhi permintaan pasar yang tinggi dan meningkatkan hasil. Namun, meskipun keuntungan jangka pendek dapat tercapai, praktik ini memperbesar risiko kerugian jangka panjang. Ketergantungan yang tinggi pada satu jenis tanaman meningkatkan kerentanannya terhadap serangan hama, penyakit, atau perubahan cuaca ekstrem yang dapat merusak hasil panen.

2. Degradasi Kualitas Tanah dan Mikroorganisme

Monokultur dapat menyebabkan degradasi tanah yang serius, terutama karena kurangnya rotasi tanaman dan penanaman tanaman penutup. Penanaman satu jenis tanaman secara berulang menguras nutrisi tertentu dari tanah, sementara tanah tidak diberi kesempatan untuk memulihkan keseimbangannya. Hal ini mengurangi kemampuan tanah untuk mempertahankan kesuburan jangka panjang. Tanpa keragaman tanaman, tanah menjadi lebih rentan terhadap erosi dan kehilangan bahan organik, yang memperburuk kualitas tanah secara keseluruhan.

Penurunan kualitas tanah akibat monokultur juga memengaruhi mikroorganisme tanah, yang berperan penting dalam mendukung kesehatan tanah. Mikroorganisme ini menguraikan bahan organik, memperbaiki struktur tanah, dan mendaur ulang nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Namun, sistem monokultur dapat mengubah kondisi fisik dan kimia tanah sehingga mengganggu keseimbangan mikroorganisme yang ada. Hal ini mengurangi keberagaman mikroba tanah, yang berakibat pada penurunan kemampuan tanah untuk mendukung tanaman yang sehat dan produktif.

3. Ketergantungan pada Pestisida dan Herbisida

Praktik monokultur sering kali memicu ketergantungan yang tinggi pada pestisida dan herbisida untuk melindungi tanaman dari hama dan penyakit. Tanaman yang ditanam dalam monokultur lebih rentan terhadap serangan hama, karena kurangnya keragaman spesies yang dapat mengurangi penyebaran hama tersebut. Dalam kondisi seperti ini, petani cenderung mengandalkan pestisida kimia sebagai solusi utama untuk mengendalikan ancaman tersebut, yang pada akhirnya meningkatkan konsumsi bahan kimia dalam pertanian.

Penggunaan pestisida yang berlebihan tidak hanya membunuh hama target, tetapi juga berdampak negatif pada spesies non-target di ekosistem pertanian. Banyak predator alami hama dan mikroorganisme tanah yang bermanfaat juga terpapar pestisida, yang dapat mengurangi keberagaman hayati dan mengganggu keseimbangan ekosistem tanah. Selain itu, aplikasi pestisida yang tidak selektif dapat mengganggu sistem alami yang seharusnya mengatur populasi hama, seperti serangga pemangsa dan parasit alami.

4. Penyusutan Habitat dan Ancaman terhadap Fauna

Monokultur dapat mengurangi keberagaman habitat yang penting bagi fauna, karena sistem pertanian ini hanya menyediakan ruang bagi satu jenis tanaman. Ketika lahan pertanian didominasi oleh satu spesies tanaman, habitat alami bagi banyak spesies fauna juga hilang. Tanaman yang beragam memberikan makanan dan tempat berlindung yang berbeda untuk berbagai jenis hewan, mulai dari burung, serangga, hingga mamalia. Namun, dalam sistem monokultur, keberagaman tanaman yang hilang menyebabkan berkurangnya sumber daya yang tersedia bagi fauna yang bergantung pada keanekaragaman tanaman untuk hidup (Emmerson *et al.*, 2016).

Kehilangan habitat ini juga mengancam populasi fauna lokal, karena berkurangnya keberagaman tanaman dapat mengurangi keberagaman spesies hewan yang ada. Misalnya, burung yang bergantung pada berbagai jenis tanaman untuk mencari makan atau tempat bersarang, atau serangga yang membutuhkan tanaman tertentu untuk berkembang biak. Ketika monokultur menggantikan keberagaman tanaman, spesies-spesies ini kehilangan sumber daya yang penting, yang dapat mengarah pada penurunan populasi dan bahkan kepunahan beberapa spesies.

C. Konservasi Tanah dan Keanekaragaman Genetik

Konservasi tanah dan keanekaragaman genetik merupakan dua elemen yang sangat penting dalam menjaga keberlanjutan pertanian dan keberagaman hayati. Tanah yang subur dan kaya akan organisme hidup menjadi dasar bagi pertanian yang sehat, sedangkan keanekaragaman genetik tanaman dan hewan juga berperan besar dalam ketahanan sistem pertanian terhadap ancaman biotik dan abiotik.

1. Konservasi Tanah dalam Pertanian

Tanah adalah sumber daya alam yang sangat penting bagi keberlanjutan pertanian. Kualitas tanah yang baik sangat memengaruhi produktivitas tanaman, kesehatan ekosistem, dan ketahanan pangan global. Namun, seiring dengan meningkatnya intensifikasi pertanian dan penggunaan input kimia seperti pestisida dan pupuk sintetis, banyak tanah mengalami degradasi. Erosi, hilangnya bahan organik, dan kontaminasi tanah menjadi masalah yang mendesak dalam sektor pertanian. Degradasi tanah ini mengancam kapasitas tanah untuk mendukung pertanian jangka panjang, yang mengarah pada penurunan produktivitas dan kerugian ekonomi yang besar.

Konservasi tanah adalah upaya untuk mempertahankan dan meningkatkan kualitas tanah agar tetap subur dan produktif. Salah satu pendekatan konservasi yang efektif adalah melalui praktik pertanian berkelanjutan. Rotasi tanaman adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menjaga kesuburan tanah. Dengan menanam berbagai jenis tanaman secara bergantian, praktik ini mencegah penurunan kesuburan yang terjadi pada praktik monokultur, yang menguras nutrisi tanah secara berlebihan. Selain itu, rotasi tanaman juga membantu memutus siklus hama dan penyakit, yang sering berkembang dalam kondisi tanaman tunggal.

2. Keanekaragaman Genetik dalam Pertanian

Keanekaragaman genetik dalam pertanian sangat penting untuk memastikan ketahanan sistem pertanian terhadap berbagai tantangan, seperti hama, penyakit, dan perubahan iklim. Tanaman yang ditanam dalam jumlah terbatas atau sistem monokultur cenderung memiliki keragaman genetik yang sangat rendah. Hal ini membuat tanaman tersebut rentan terhadap ancaman eksternal. Misalnya, serangan hama

atau penyakit tertentu dapat dengan cepat menghancurkan seluruh hasil panen jika hanya ada satu varietas tanaman yang ditanam secara luas. Keanekaragaman genetik, di sisi lain, memungkinkan tanaman untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan yang berubah-ubah, meningkatkan peluangnya untuk bertahan dan berkembang dalam jangka panjang.

Keanekaragaman genetik dalam pertanian juga berperan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim. Tanaman yang memiliki keragaman genetik yang luas dapat memiliki sifat-sifat yang memungkinkan untuk bertahan dalam kondisi ekstrem seperti kekeringan, suhu tinggi, atau kelembapan yang tidak stabil. Dengan mengembangkan dan memelihara keragaman genetik tanaman, petani dapat memilih varietas yang paling sesuai dengan kondisi iklim lokal yang berubah-ubah, meningkatkan keberlanjutan produksi pertanian.

D. Pengelolaan Hama dan Penyakit dengan Prinsip Keberlanjutan

Pengelolaan hama dan penyakit merupakan salah satu aspek penting dalam pertanian, karena hama dan penyakit dapat mengurangi hasil panen secara signifikan. Namun, penggunaan teknologi dan bahan kimia dalam pengelolaan hama dan penyakit sering kali membawa dampak negatif bagi lingkungan, kesehatan manusia, dan keberagaman hayati. Prinsip keberlanjutan dalam pengelolaan hama dan penyakit mencakup upaya untuk mengendalikan populasi hama dan penyakit dengan cara yang tidak merusak ekosistem, tidak mengurangi keanekaragaman hayati, dan tidak menurunkan kualitas tanah dan air. Pendekatan ini berfokus pada pengelolaan yang mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis dan meningkatkan penggunaan metode alami yang lebih ramah lingkungan.

Salah satu prinsip utama dalam pengelolaan hama dan penyakit berkelanjutan adalah penggunaan *Integrated Pest Management* (IPM). IPM adalah pendekatan yang mengintegrasikan berbagai teknik untuk mengendalikan hama, seperti penggunaan pestisida alami, rotasi tanaman, penanaman varietas yang tahan terhadap hama, serta pemanfaatan musuh alami hama (predator, parasitoid, dan mikroorganisme pengendali). Dengan pendekatan ini, pengendalian hama dilakukan dengan cara yang lebih holistik dan terkoordinasi, sehingga dapat meminimalkan dampak negatif terhadap ekosistem.

1. Penggunaan Musuh Alami Hama (*Biological Control*)

Penggunaan musuh alami hama sebagai metode pengendalian biologis merupakan pendekatan yang ramah lingkungan dalam sistem pertanian berkelanjutan. Musuh alami hama dapat berupa predator, parasitoid, atau mikroorganisme patogen yang menyerang dan mengendalikan populasi hama secara alami tanpa merusak ekosistem pertanian. Misalnya, cendawan entomopatogen seperti *Beauveria bassiana* digunakan untuk mengendalikan serangga penggerek batang, sementara parasitoid seperti *Aphidius* mengendalikan populasi kutu daun. Keunggulan utama metode ini adalah mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang dapat membahayakan keberagaman hayati dan merusak ekosistem.

Pengendalian biologis memiliki potensi besar untuk menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Salah satu contoh nyata dari efektivitas penggunaan musuh alami adalah keberhasilan predator alami seperti kepik (*Coccinellidae*) dalam mengendalikan kutu daun, yang sering menjadi hama utama dalam pertanian. Kepik tidak hanya membatasi jumlah kutu daun, tetapi juga meminimalkan kerusakan pada tanaman, memberikan solusi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan pestisida kimia. Dengan demikian, metode ini tidak hanya efektif dalam mengendalikan hama, tetapi juga mendukung keberagaman hayati di lahan pertanian (Altieri, 2018).

2. Rotasi Tanaman dan Diversifikasi Tanaman

Praktik rotasi tanaman dan diversifikasi tanaman merupakan pendekatan yang efektif dalam pengelolaan hama secara berkelanjutan. Dengan mengganti jenis tanaman yang ditanam pada suatu lahan setiap musim tanam, rotasi tanaman mengganggu siklus hidup hama yang biasanya terfokus pada satu jenis tanaman. Misalnya, jika tanaman tertentu menjadi tempat berkembang biaknya hama spesifik, menggantinya dengan tanaman lain yang tidak menarik bagi hama tersebut dapat menurunkan populasi hama dan mengurangi kerusakan pada tanaman utama. Metode ini juga membantu mengurangi penggunaan pestisida kimia yang berisiko merusak lingkungan dan keberagaman hayati (Dias *et al.*, 2015).

Rotasi tanaman dapat meningkatkan kesuburan tanah. Tanaman yang berbeda memiliki kebutuhan dan dampak yang berbeda terhadap tanah, yang memungkinkan untuk menghindari penurunan kualitas tanah

yang sering terjadi akibat penanaman monokultur. Misalnya, tanaman legum seperti kacang-kacangan dapat memperbaiki kandungan nitrogen tanah, sementara tanaman lain dapat menyumbang bahan organik atau mengurangi erosi. Dengan demikian, rotasi tanaman menjaga keseimbangan nutrisi tanah dan mencegah kerusakan struktural tanah yang disebabkan oleh pengolahan yang berlebihan.

3. Penanaman Tanaman Tahan Hama

Penanaman tanaman tahan hama adalah salah satu strategi efektif dalam pengelolaan hama yang berkelanjutan. Dengan memilih varietas tanaman yang memiliki ketahanan alami terhadap hama atau penyakit tertentu, petani dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia. Varietas tanaman seperti padi tahan hama, jagung, dan tomat yang telah dikembangkan melalui rekayasa genetika atau seleksi alami mampu bertahan terhadap serangan hama utama tanpa mengorbankan hasil panen. Penggunaan tanaman yang tahan terhadap hama ini tidak hanya mengurangi kebutuhan untuk pengendalian kimiawi tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem.

Tanaman tahan hama yang telah dikembangkan secara selektif memiliki keunggulan dalam mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh serangga dan organisme patogen lainnya. Misalnya, varietas padi yang tahan terhadap penggerek batang atau tomat yang lebih tahan terhadap kutu daun dapat memberikan hasil yang lebih baik dan stabil, bahkan dalam kondisi yang mendukung pertumbuhan hama. Keberhasilan pengembangan varietas seperti ini berhubungan dengan sifat ketahanannya terhadap hama dan penyakit yang mengurangi kebutuhan akan aplikasi pestisida secara rutin, yang pada gilirannya juga mengurangi biaya dan dampak lingkungan.

4. Pengendalian Fisik dan Mekanis

Pengendalian fisik dan mekanis merupakan metode penting dalam pengelolaan hama yang berkelanjutan. Teknik ini melibatkan penggunaan alat atau tindakan fisik untuk mengurangi atau mengendalikan populasi hama tanpa melibatkan bahan kimia. Salah satu contoh pengendalian fisik yang banyak digunakan adalah pemasangan jaring pelindung yang dapat menghalangi akses serangga atau burung ke tanaman. Jaring ini berfungsi untuk menjaga tanaman dari kerusakan akibat hama terbang atau burung yang dapat merusak hasil panen. Selain

itu, penggunaan mulsa sebagai penutup tanah dapat menghalangi hama tanah untuk mengakses akar tanaman, serta membantu mengurangi suhu tanah dan mengurangi erosi.

Pengendalian mekanis melibatkan metode fisik yang dilakukan langsung oleh petani untuk mengurangi jumlah hama. Salah satu contohnya adalah pemangkasan tanaman yang terinfeksi atau rusak untuk mencegah penyebaran hama lebih lanjut. Selain itu, tindakan manual seperti pencabutan tanaman pengganggu atau hama juga dapat dilakukan untuk mengurangi keberadaan hama di lahan pertanian. Metode ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada pestisida, tetapi juga menjaga kestabilan ekosistem pertanian dengan meminimalkan dampak negatif terhadap organisme non-target.

E. Strategi Meningkatkan Biodiversitas dalam Pertanian

Biodiversitas atau keanekaragaman hayati berperan yang sangat penting dalam menjaga keberlanjutan pertanian, baik dalam hal peningkatan hasil pertanian, pengelolaan sumber daya alam, maupun pemeliharaan ekosistem. Dalam konteks pertanian, keanekaragaman hayati tidak hanya merujuk pada keberagaman spesies tanaman yang dibudidayakan, tetapi juga mencakup keberagaman mikroorganisme tanah, serangga, burung, dan hewan lainnya yang berinteraksi dalam ekosistem pertanian. Pengelolaan biodiversitas yang tepat akan meningkatkan stabilitas ekosistem, meningkatkan produktivitas pertanian, serta mengurangi kerugian akibat hama dan penyakit.

1. Penggunaan Sistem Pertanian Berkelanjutan (*Sustainable Agriculture Systems*)

Sistem pertanian berkelanjutan berperan penting dalam meningkatkan keberagaman hayati dalam pertanian dengan fokus pada pengelolaan sumber daya alam yang ramah lingkungan. Salah satu metode yang digunakan dalam sistem ini adalah rotasi tanaman, yang dapat memutus siklus hidup hama dan mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia. Dengan mengganti tanaman yang ditanam setiap musim, tanah juga mendapat kesempatan untuk pulih, sehingga meningkatkan kesehatan dan kesuburan tanah. Selain itu, pertanian organik yang menghindari penggunaan bahan kimia sintetis juga turut berkontribusi dalam menjaga biodiversitas tanah, karena mendukung keberagaman

mikroorganisme yang penting bagi proses-proses biologi di dalam tanah (Altieri, 2018).

Praktik agroforestry, yang menggabungkan penanaman pohon dengan tanaman pangan, juga memberikan banyak manfaat dalam sistem pertanian berkelanjutan. Agroforestry tidak hanya membantu mengurangi erosi tanah, tetapi juga menyediakan habitat bagi berbagai spesies, yang memperkaya keragaman hayati. Selain itu, pohon-pohon yang ditanam dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi di tanah melalui daun yang gugur dan akar yang mendalam, yang juga memperbaiki struktur tanah.

2. Agroforestry sebagai Solusi untuk Meningkatkan Keanekaragaman Hayati

Agroforestry, yang menggabungkan tanaman pertanian dengan pohon atau semak, telah muncul sebagai solusi efektif untuk meningkatkan keanekaragaman hayati dalam sistem pertanian. Dengan mengintegrasikan pohon ke dalam lahan pertanian, agroforestry menyediakan habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna. Sistem ini menciptakan ekosistem yang lebih kompleks dengan meningkatkan keragaman tanaman dan menyediakan tempat berlindung bagi hewan, seperti burung, serangga, dan mamalia kecil. Ini penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem, yang pada gilirannya mendukung keberlanjutan pertanian.

Pohon-pohon yang ditanam dalam sistem agroforestry juga memiliki peran penting dalam meningkatkan kesehatan tanah dan mengurangi erosi. Akar pohon membantu mengikat tanah, mencegah longsor, dan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyerap air. Selain itu, dengan menanam pohon yang berfungsi sebagai peneduh, agroforestry juga mengurangi volatilitas suhu yang dapat merugikan tanaman pertanian. Penanaman pohon-pohon yang berbeda jenis ini memperkaya keanekaragaman hayati dengan menciptakan berbagai niche ekologi, yang mendukung beragam kehidupan mikroorganisme di dalam tanah.

3. Pertanian Organik dan Pengurangan Ketergantungan pada Pestisida Kimia

Pertanian organik menjadi pendekatan yang sangat penting dalam upaya peningkatan biodiversitas dalam pertanian. Pendekatan ini

memprioritaskan penggunaan bahan alami dan teknik ramah lingkungan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan menjaga keseimbangan ekosistem. Salah satu ciri utama pertanian organik adalah penghindaran penggunaan pestisida kimia dan pupuk sintetis yang dapat merusak ekosistem tanah dan mengurangi keragaman hayati. Sebagai gantinya, petani organik menggunakan pupuk organik, kompos, dan teknik rotasi tanaman untuk menjaga kualitas tanah dan meminimalkan ketergantungan pada bahan kimia berbahaya (Reganold & Wachter, 2016).

Penggunaan musuh alami hama juga menjadi salah satu prinsip dalam pertanian organik. Dengan memanfaatkan predator alami, parasitoid, atau mikroorganisme patogen, sistem pertanian organik dapat mengurangi serangan hama secara efektif tanpa merusak ekosistem. Ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia tetapi juga memperbaiki keseimbangan ekologis dalam pertanian. Sebagai contoh, penggunaan serangga pemangsa untuk mengontrol hama kutu daun telah terbukti sangat efektif dalam sistem pertanian organik.

BAB VI

TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM PERTANIAN BERKELANJUTAN

Teknologi dan Inovasi dalam Pertanian Berkelanjutan membahas pentingnya peran teknologi dalam menghadapi tantangan global di sektor pertanian. Inovasi teknologi di bidang pertanian tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi tetapi juga memperkenalkan metode yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan teknologi tepat guna seperti sensor untuk pemantauan kelembapan tanah, alat pertanian otomatis, dan sistem pertanian presisi dapat mengurangi penggunaan sumber daya yang berlebihan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Teknologi ini memberi petani alat yang lebih efektif untuk meningkatkan hasil pertanian sambil menjaga keberlanjutan.

A. Teknologi Pertanian Cerdas (*Smart Agriculture*)

Teknologi pertanian cerdas mengintegrasikan berbagai teknologi digital, seperti *Internet of Things* (IoT), big data, kecerdasan buatan (AI), dan sistem kendali otomatis untuk mendukung keputusan yang lebih tepat dalam kegiatan pertanian. Teknologi ini dirancang untuk meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim, mengoptimalkan penggunaan air, dan meminimalkan penggunaan bahan kimia yang dapat merusak ekosistem.

1. *Internet of Things* (IoT) dalam Pertanian Cerdas

Internet of Things (IoT) dalam pertanian cerdas mengacu pada penggunaan jaringan perangkat yang saling terhubung untuk mengumpulkan dan mengirimkan data terkait kondisi lahan dan tanaman. Teknologi ini memungkinkan petani untuk memantau berbagai faktor penting, seperti kelembapan tanah, suhu udara, curah hujan, dan tingkat nutrisi tanaman, melalui sensor yang dipasang di lapangan. Data

yang dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan sistem yang terintegrasi, yang memungkinkan petani untuk mengambil keputusan yang lebih tepat waktu dan terinformasi, seperti mengatur penyiraman atau kontrol suhu yang optimal untuk pertumbuhan tanaman.

Salah satu manfaat utama dari penggunaan IoT dalam pertanian adalah efisiensi penggunaan air. Penggunaan sensor kelembaban tanah yang terhubung dengan sistem otomatisasi irigasi dapat secara signifikan mengurangi pemborosan air. Sensor ini dapat mendeteksi tingkat kelembaban tanah secara real-time dan mengaktifkan sistem irigasi hanya ketika diperlukan, sehingga menghindari penyiraman berlebih atau kurang, yang sering kali terjadi pada metode irigasi tradisional (Verdouw *et al.*, 2016).

2. Big Data dan Analitik untuk Pengambilan Keputusan

Big data dalam pertanian cerdas merujuk pada penggunaan volume besar data yang dikumpulkan dari berbagai sumber, seperti sensor di lapangan, citra satelit, data cuaca, serta data historis hasil panen. Pengumpulan data dalam jumlah besar ini memungkinkan pemantauan kondisi lahan dan tanaman secara lebih mendalam. Selain itu, big data memungkinkan pengintegrasian informasi yang sebelumnya sulit digabungkan menggunakan metode tradisional. Dengan menggunakan teknologi analitik, data yang dikumpulkan dapat diproses untuk menghasilkan wawasan yang berguna bagi petani dalam pengelolaan pertanian.

Penggunaan big data memungkinkan petani untuk memprediksi hasil panen dengan lebih akurat, karena dapat memanfaatkan informasi terkait kondisi iklim, kelembaban tanah, dan faktor lingkungan lainnya. Dengan mengidentifikasi pola-pola dalam data historis, petani dapat membuat keputusan yang lebih cerdas tentang waktu tanam, jenis pupuk yang digunakan, serta teknik pengelolaan hama yang paling efektif. Ini sangat membantu dalam merencanakan setiap langkah dalam siklus pertanian dan meningkatkan hasil secara keseluruhan.

3. Kecerdasan Buatan (AI) dalam Pertanian

Kecerdasan buatan (AI) berperan penting dalam revolusi pertanian cerdas dengan meningkatkan efisiensi dan ketepatan dalam pengelolaan pertanian. Salah satu aplikasi utama AI adalah dalam pemantauan kesehatan tanaman. Dengan menggunakan teknologi seperti

visi komputer, AI dapat menganalisis gambar tanaman untuk mendeteksi tanda-tanda penyakit atau kekurangan nutrisi. Misalnya, sistem AI dapat mengenali pola dalam daun tanaman yang mengindikasikan adanya infeksi atau stres, memungkinkan petani untuk merespons lebih cepat dan mengurangi kerugian hasil. Penggunaan AI dalam analisis citra dapat mendeteksi masalah lebih awal, sehingga mengurangi kebutuhan untuk intervensi yang lebih invasif.

AI dapat digunakan untuk memprediksi potensi risiko hama dan penyakit dengan menganalisis pola data historis dan faktor lingkungan. Sistem AI ini dapat memproses data tentang suhu, kelembaban, dan pola cuaca untuk meramalkan kapan dan di mana risiko serangan hama atau penyakit mungkin meningkat. Dengan informasi ini, petani dapat mengoptimalkan strategi pengelolaan hama, misalnya dengan menggunakan pestisida hanya pada titik yang paling rentan, sehingga mengurangi penggunaan bahan kimia dan dampaknya terhadap lingkungan. Hal ini meningkatkan ketahanan tanaman sekaligus mengurangi dampak negatif dari penggunaan pestisida.

4. Teknologi Drone dan Citra Satelit dalam Pemantauan Pertanian

Teknologi drone dan citra satelit telah memberikan kemajuan besar dalam pemantauan pertanian, memudahkan petani untuk mengawasi kondisi tanaman dan lahan secara lebih efisien. Drone dilengkapi dengan berbagai sensor yang dapat mengukur kelembaban tanah, memantau kesehatan tanaman, dan bahkan mendeteksi potensi erosi pada lahan pertanian. Data yang dikumpulkan oleh drone ini dapat digunakan untuk membuat keputusan yang lebih tepat dalam manajemen lahan, seperti penyesuaian jadwal irigasi atau pemberian pupuk, yang dapat meningkatkan hasil pertanian secara keseluruhan.

Citra satelit memberikan gambaran menyeluruh tentang kondisi lahan dalam skala yang lebih besar. Teknologi ini sangat berguna bagi pertanian komersial skala besar, di mana pengamatan manual menjadi sangat sulit. Citra satelit dapat digunakan untuk mengamati perubahan kondisi tanaman, mendeteksi kekeringan, atau memetakan wilayah yang rentan terhadap penyakit atau hama. Dengan data ini, petani bisa merencanakan intervensi yang lebih efisien, meminimalkan kerugian, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya.

5. Sistem Irigasi Cerdas

Sistem irigasi cerdas merupakan salah satu inovasi penting dalam pertanian berkelanjutan yang mengoptimalkan penggunaan air. Dengan menggunakan sensor yang terpasang di lapangan, sistem ini dapat memantau kelembaban tanah, suhu udara, dan kondisi lingkungan lainnya, untuk menyesuaikan pola penyiraman secara otomatis. Teknologi ini memastikan bahwa tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat pada waktu yang tepat, mengurangi pemborosan air yang sering terjadi pada metode irigasi tradisional. Hal ini sangat bermanfaat, terutama di daerah yang menghadapi kekurangan air atau kondisi kekeringan.

Menurut Masseroni *et al.* (2020), penerapan sistem irigasi cerdas dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian dengan signifikan. Di daerah-daerah yang rentan terhadap kekeringan, teknologi ini terbukti membantu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres air. Dengan sistem ini, petani dapat memastikan tanaman tetap terhidrasi dengan baik tanpa membuang air secara berlebihan, yang pada gilirannya meningkatkan hasil panen dan mengurangi pemborosan sumber daya yang sangat berharga.

B. Bioteknologi untuk Pertanian Berkelanjutan

Bioteknologi dalam pertanian merujuk pada penggunaan teknik biologi untuk mengembangkan tanaman dan organisme yang lebih efisien dalam produksi pertanian. Teknologi ini mencakup rekayasa genetika, biopestisida, dan kultur jaringan yang memungkinkan para petani untuk menghasilkan produk pertanian dengan lebih efisien dan ramah lingkungan. Bioteknologi pertanian berkelanjutan bertujuan untuk meningkatkan ketahanan pangan global, mengurangi kerusakan lingkungan, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam.

1. Rekayasa Genetika untuk Tanaman Tahan Hama dan Penyakit

Rekayasa genetika dalam pertanian telah membawa dampak signifikan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit. Melalui teknik ini, gen-gen dari organisme lain dapat disisipkan ke dalam tanaman untuk memberikan kemampuan pertahanan yang lebih baik. Sebagai contoh, tanaman jagung Bt dan kapas Bt telah dikembangkan dengan memasukkan gen bakteri *Bacillus thuringiensis*,

yang menghasilkan protein toksik yang membunuh hama seperti ulat penggerek. Tanaman ini dapat mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh serangan, meningkatkan hasil panen, dan mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia.

Salah satu keuntungan utama dari rekayasa genetika adalah pengurangan penggunaan pestisida kimia, yang berdampak langsung pada kesehatan manusia dan lingkungan. Tanaman yang dimodifikasi secara genetik untuk tahan terhadap hama mengurangi kebutuhan untuk aplikasi pestisida yang berlebihan, sehingga mengurangi risiko kontaminasi tanah dan air, serta mengurangi dampak negatif terhadap organisme non-target, seperti serangan penyerbuk dan satwa liar.

2. Biopestisida dan Pengendalian Hama Berkelanjutan

Biopestisida merupakan alternatif yang ramah lingkungan terhadap pestisida kimia dalam pengendalian hama dan penyakit pada tanaman. Berbeda dengan pestisida konvensional, yang dapat merusak ekosistem dan membahayakan kesehatan manusia, biopestisida terbuat dari bahan biologis yang lebih selektif dalam mempengaruhi hama. Produk ini sering kali mengandung mikroorganisme, seperti bakteri, virus, atau jamur, yang mampu mengendalikan hama dengan cara yang tidak berbahaya bagi tanaman atau organisme non-target. Dengan demikian, biopestisida menawarkan solusi yang lebih aman dan berkelanjutan untuk pertanian.

Salah satu contoh sukses penggunaan biopestisida adalah bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt), yang sering digunakan dalam pengendalian hama. Bakteri ini menghasilkan protein toksik yang dapat membunuh hama tertentu, seperti ulat dan kumbang, tanpa merusak tanaman atau hewan lainnya. Seiber *et al.* (2014) menunjukkan bahwa biopestisida Bt sangat efektif dalam mengendalikan hama yang dapat merusak hasil pertanian, dengan dampak yang sangat minimal terhadap lingkungan. Hal ini menjadi bukti kuat bahwa biopestisida memiliki potensi besar dalam mendukung pertanian yang lebih berkelanjutan.

3. Bioteknologi untuk Peningkatan Kualitas Tanaman

Bioteknologi telah membawa banyak kemajuan dalam bidang pertanian, khususnya dalam meningkatkan kualitas tanaman. Salah satu aplikasi utama adalah teknik kultur jaringan, yang memungkinkan produksi tanaman bebas penyakit dan memperbanyak tanaman dengan

sifat unggul. Melalui kultur jaringan, petani dapat memperoleh bibit tanaman yang lebih sehat dan memiliki karakteristik yang diinginkan, seperti ketahanan terhadap penyakit atau cuaca ekstrem. Teknik ini juga memfasilitasi perbanyakan tanaman langka atau yang memiliki nilai ekonomi tinggi, sehingga mendukung keberlanjutan produksi pertanian.

Rekayasa genetika juga berperan penting dalam peningkatan kualitas tanaman. Melalui pengeditan gen, tanaman dapat dimodifikasi untuk meningkatkan kandungan gizi, seperti meningkatkan kadar vitamin, antioksidan, atau mineral yang bermanfaat bagi kesehatan manusia. Salah satu contoh terkenal adalah pembuatan "*Golden Rice*," sebuah varietas padi yang diperkaya dengan provitamin A, yang dirancang untuk mengatasi defisiensi vitamin A yang meluas di negara-negara berkembang. *Golden Rice* memiliki potensi besar untuk memperbaiki gizi masyarakat, terutama anak-anak, yang sering kali terpapar masalah kekurangan vitamin A.

4. Pemanfaatan Mikrobioma Tanah dalam Pertanian Berkelanjutan

Mikrobioma tanah berperan yang sangat penting dalam mendukung kesuburan tanah dan kesehatan tanaman. Komunitas mikroorganisme yang ada di dalam tanah, termasuk bakteri, jamur, dan alga, berinteraksi dengan tanaman dan memengaruhi proses-proses vital seperti siklus nitrogen, dekomposisi bahan organik, dan penyerapan nutrisi. Pemanfaatan mikrobioma tanah dalam pertanian berkelanjutan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam, mengurangi ketergantungan pada bahan kimia seperti pupuk sintetis, dan meningkatkan hasil pertanian secara berkelanjutan.

Salah satu pendekatan dalam memanfaatkan mikrobioma tanah adalah dengan menggunakan inokulan mikroba, yang terdiri dari mikroorganisme yang diisolasi dan diaplikasikan pada tanah untuk memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman. Inokulan mikroba ini dapat membantu memperkaya keberagaman mikrobioma tanah dan meningkatkan aktivitas mikroba yang menguntungkan. Misalnya, bakteri pengikat nitrogen dapat membantu meningkatkan ketersediaan unsur hara nitrogen yang dibutuhkan tanaman, yang pada gilirannya mengurangi kebutuhan akan pupuk nitrogen sintetis yang biasa digunakan dalam pertanian konvensional.

5. Peningkatan Ketahanan Tanaman terhadap Stres Lingkungan

Stres lingkungan, seperti kekeringan, salinitas tinggi, dan suhu ekstrem, merupakan tantangan yang semakin meningkat bagi pertanian global. Perubahan iklim yang terus berlanjut memperburuk masalah ini, mengancam ketahanan pangan dan keberlanjutan sektor pertanian. Dalam menghadapi tantangan ini, bioteknologi menawarkan solusi dengan mengembangkan tanaman yang lebih tahan terhadap stres lingkungan. Pendekatan ini penting untuk meningkatkan ketahanan tanaman, khususnya di daerah-daerah yang rentan terhadap perubahan iklim.

Salah satu teknologi yang digunakan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan adalah rekayasa genetika. Melalui teknik ini, para ilmuwan dapat memodifikasi gen tanaman untuk meningkatkan kemampuannya dalam menghadapi kondisi lingkungan yang keras. Misalnya, tanaman yang telah dimodifikasi secara genetik dengan gen-gen yang meningkatkan toleransi terhadap kekeringan atau salinitas, dapat bertahan dalam kondisi yang sebelumnya tidak dapat dihadapi.

C. Penggunaan Drone dan Sensor untuk Pengelolaan Tanaman

Pada beberapa tahun terakhir, teknologi drone dan sensor telah berkembang pesat dan berperan penting dalam pertanian berkelanjutan. Teknologi ini memungkinkan petani untuk memantau dan mengelola tanaman dengan cara yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Melalui pemanfaatan teknologi ini, berbagai tantangan yang dihadapi sektor pertanian, seperti penggunaan air, pengendalian hama, dan peningkatan produktivitas, dapat diatasi dengan lebih efektif.

1. Pengenalan Teknologi Drone dan Sensor dalam Pertanian

Teknologi drone dan sensor telah merubah cara pertanian modern dalam mengelola tanaman dan lahan pertanian. Drone, yang merupakan kendaraan udara tanpa awak, kini digunakan untuk memantau kondisi tanaman dengan cara yang jauh lebih efisien dan akurat daripada metode konvensional. Dengan kemampuan untuk terbang di atas lahan pertanian, drone dapat memberikan gambaran yang luas tentang kondisi tanaman secara real-time, memungkinkan petani untuk mengidentifikasi masalah dengan cepat, seperti kekurangan air, hama, atau penyakit. Hal

ini mengarah pada pengambilan keputusan yang lebih tepat waktu dan efektif.

Salah satu fitur penting dari drone adalah kemampuannya untuk membawa berbagai sensor yang dapat mengukur berbagai parameter lingkungan yang krusial untuk pertanian. Sensor kelembaban tanah, misalnya, memungkinkan pemantauan tingkat kelembaban di lapangan, sehingga petani dapat melakukan irigasi dengan lebih efisien dan hanya saat diperlukan. Selain itu, sensor suhu dan kesehatan tanaman memungkinkan pemantauan kondisi tanaman dengan tingkat presisi yang lebih tinggi, yang membantu dalam deteksi dini terhadap masalah pertumbuhan atau infeksi tanaman.

2. Penggunaan Drone untuk Pemantauan Tanaman

Penggunaan drone untuk pemantauan tanaman telah membawa perubahan signifikan dalam cara petani mengelola lahan pertanian. Dengan dilengkapi dengan teknologi canggih seperti kamera multispektral dan inframerah, drone mampu memberikan gambaran yang lebih detail dan akurat tentang kondisi tanaman dari udara. Salah satu manfaat utama dari penggunaan kamera inframerah adalah kemampuannya untuk mendeteksi tingkat kesehatan tanaman. Citra inframerah mengungkapkan pola-pola refleksi cahaya yang dipantulkan oleh daun, yang memberikan petunjuk tentang status kelembaban, kesehatan, dan kebutuhan tanaman akan air. Hal ini sangat berguna untuk mendeteksi masalah yang mungkin tidak terlihat dengan mata telanjang, seperti kekurangan air atau penyakit yang mulai menyerang tanaman.

Teknologi drone memungkinkan pemantauan secara real-time, yang berarti petani dapat segera mengidentifikasi masalah di lapangan dan mengambil tindakan yang diperlukan tanpa menunggu hingga masalah tersebut berkembang lebih parah. Misalnya, jika ada daerah yang terlihat kekurangan air atau terinfeksi hama, petani dapat langsung melakukan intervensi, seperti menyirami tanaman atau menggunakan pestisida dengan lebih terfokus pada area yang membutuhkan. Tsouros *et al.* (2019) menunjukkan bahwa pemantauan kondisi tanaman secara real-time dengan drone tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada pestisida dan pupuk, yang sering kali digunakan secara berlebihan dalam pertanian konvensional.

3. Sensor untuk Monitoring Lingkungan dan Tanaman

Sensor yang digunakan dalam pertanian cerdas berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan sumber daya dan hasil tanaman. Sensor yang dipasang pada drone atau perangkat lainnya dapat mengumpulkan data penting terkait kondisi lingkungan dan tanaman, seperti kelembaban tanah, suhu udara, kandungan nutrisi, serta deteksi hama dan penyakit. Sensor kelembaban tanah, misalnya, memungkinkan pemantauan kelembaban secara real-time, sehingga petani dapat mengetahui secara tepat kapan waktu yang tepat untuk irigasi. Hal ini sangat penting dalam mengurangi pemborosan air, terutama pada metode irigasi konvensional yang cenderung menyiram tanaman lebih banyak dari yang dibutuhkan.

Sensor suhu udara dan kandungan nutrisi juga berperan penting dalam memantau kesehatan tanaman. Suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, sementara kandungan nutrisi yang tidak seimbang dapat menyebabkan tanaman kekurangan atau kelebihan unsur hara. Dengan memonitor parameter-parameter ini, petani dapat mengatur kondisi pertanian dengan lebih optimal, yang dapat meningkatkan hasil panen. Sensor ini tidak hanya meningkatkan kualitas tanaman, tetapi juga membantu mengurangi penggunaan input yang berlebihan, seperti pupuk dan air, yang sering kali menjadi masalah dalam pertanian tradisional.

4. Peningkatan Efisiensi Pengelolaan Tanaman melalui Teknologi *Precision Agriculture*

Precision agriculture, atau pertanian presisi, adalah metode yang semakin berkembang dalam sektor pertanian, yang memanfaatkan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Salah satu komponen utama dari pertanian presisi adalah penggunaan drone dan sensor, yang memungkinkan pemantauan dan analisis kondisi tanaman serta tanah dengan tingkat presisi yang tinggi. Dengan memanfaatkan data yang dikumpulkan oleh teknologi ini, petani dapat memperoleh informasi lebih rinci mengenai kondisi lahan, seperti kelembaban tanah, kandungan nutrisi, dan potensi masalah hama atau penyakit. Hal ini memungkinkan untuk merencanakan tindakan yang lebih tepat sasaran dan efektif.

Salah satu keuntungan utama dari pertanian presisi adalah kemampuannya untuk mengidentifikasi area spesifik yang memerlukan

perhatian lebih, seperti tanah yang kekurangan air atau nutrisi. Dengan data yang lebih akurat, petani dapat mengatur input seperti air, pupuk, atau pestisida hanya pada area yang membutuhkan, mengurangi pemborosan sumber daya. Velusamy *et al.* (2021) menunjukkan bahwa teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, karena penggunaan input dilakukan secara lebih selektif dan terarah. Misalnya, aplikasi pupuk dan air yang lebih terfokus pada area yang membutuhkan dapat meningkatkan hasil pertanian tanpa menambah beban pada lingkungan.

5. Optimasi Pengelolaan Air dalam Pertanian Berkelanjutan

Sumber daya air menjadi salah satu tantangan terbesar dalam pertanian berkelanjutan, terutama di wilayah yang rawan kekeringan atau di daerah dengan ketersediaan air terbatas. Untuk mengatasi masalah ini, teknologi seperti drone dan sensor telah terbukti menjadi alat yang sangat efektif untuk mengoptimalkan penggunaan air dalam pertanian. Teknologi ini memungkinkan pemantauan kelembaban tanah secara lebih akurat, yang membantu petani untuk menyesuaikan penggunaan air dengan kebutuhan spesifik tanaman di berbagai area pertanian.

Salah satu manfaat utama dari teknologi ini adalah kemampuan untuk mengidentifikasi area yang kekurangan air atau terlalu banyak air. Dengan data kelembaban tanah yang lebih terperinci, petani dapat melakukan penyesuaian pada pola irigasi, memastikan bahwa tanaman mendapat jumlah air yang tepat sesuai dengan kebutuhan. Hal ini tidak hanya menghemat air tetapi juga meningkatkan efisiensi dalam distribusi sumber daya yang terbatas, terutama di wilayah yang rawan kekeringan. Selain itu, teknologi ini membantu mengurangi ketergantungan pada irigasi konvensional yang seringkali boros air.

D. Pengembangan Varietas Tanaman Tahan Iklim

Pengembangan varietas tanaman tahan iklim merupakan bagian integral dalam mencapai pertanian berkelanjutan, terutama di tengah perubahan iklim global yang semakin ekstrem. Tanaman yang tahan terhadap kondisi lingkungan yang berubah seperti kekeringan, banjir, suhu ekstrem, dan serangan patogen dapat memastikan ketahanan pangan dan meningkatkan hasil pertanian. Berbagai inovasi dalam

bioteknologi, genetika tanaman, dan teknik pemuliaan telah memungkinkan pengembangan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap stres lingkungan yang lebih keras. Perubahan iklim yang terjadi dalam beberapa dekade terakhir telah memperburuk ketahanan pertanian terhadap faktor-faktor alam, seperti kekeringan, curah hujan yang tidak menentu, dan suhu ekstrem. Sebagai dampaknya, ketahanan pangan menjadi terancam karena banyak tanaman yang tidak dapat bertahan hidup dalam kondisi iklim yang semakin tidak ramah.

1. Varietas Tahan Kekeringan

Kekeringan menjadi salah satu ancaman terbesar bagi ketahanan pangan global, terutama dengan semakin meningkatnya dampak perubahan iklim. Tanaman yang tidak dapat bertahan dalam kondisi kekeringan sering kali mengalami penurunan hasil yang signifikan, yang berdampak langsung pada petani dan ketahanan pangan dunia. Oleh karena itu, pengembangan varietas tanaman yang memiliki ketahanan terhadap kekeringan menjadi sangat penting. Varietas tahan kekeringan dapat membantu petani mengatasi fluktuasi curah hujan yang tidak terduga dan memastikan hasil panen yang lebih stabil dalam kondisi kekeringan yang ekstrem.

Beberapa tanaman penting seperti padi, jagung, dan gandum telah berhasil dikembangkan dengan toleransi yang lebih baik terhadap kekeringan. Salah satu contohnya adalah varietas padi "*Super Drought Tolerant Rice*" yang dikembangkan melalui riset oleh Yang *et al.* (2016). Varietas ini telah menunjukkan kemampuan bertahan yang luar biasa meskipun ditanam di daerah yang mengalami kekeringan. Padi ini mampu mengurangi kerugian yang biasanya terjadi akibat stres air, sehingga menghasilkan panen yang lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan dengan varietas padi konvensional.

2. Varietas Tahan Salinitas

Salinitas tanah merupakan salah satu tantangan utama dalam pertanian, terutama di wilayah pesisir dan daerah yang terpengaruh oleh irigasi yang tidak efisien. Kondisi tanah yang mengandung kadar garam tinggi menghambat pertumbuhan banyak tanaman, mengurangi hasil pertanian, dan memperburuk ketahanan pangan di daerah-daerah tersebut. Untuk mengatasi masalah ini, penting untuk mengembangkan varietas tanaman yang tahan terhadap salinitas tinggi, agar dapat

meningkatkan produktivitas pertanian di wilayah yang terpengaruh oleh kondisi tanah asin.

Dengan penerapan bioteknologi, para ilmuwan telah berhasil mengembangkan beberapa varietas tanaman yang memiliki toleransi terhadap salinitas. Salah satu contohnya adalah padi "Swarna Sub1," yang dikembangkan untuk bertahan hidup dan berkembang dalam kondisi tanah yang mengandung garam tinggi. Varietas padi ini mampu bertahan lebih lama dan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan varietas padi konvensional saat ditanam di tanah dengan salinitas tinggi. Ini memberikan harapan besar untuk meningkatkan produksi pangan di daerah-daerah pesisir yang terpengaruh oleh salinitas.

3. Varietas Tahan Suhu Ekstrem

Suhu ekstrem, baik yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah, menjadi salah satu tantangan terbesar dalam pertanian modern, terutama di tengah perubahan iklim yang menyebabkan fluktuasi suhu yang lebih drastis. Suhu yang sangat tinggi dapat mengganggu proses fisiologi tanaman, seperti fotosintesis, yang berakibat pada penurunan hasil pertanian. Oleh karena itu, pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap suhu ekstrem sangat penting untuk meningkatkan ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian. Varietas yang mampu bertahan dalam suhu tinggi atau rendah akan menjadi kunci dalam menghadapi kondisi iklim yang semakin tidak menentu.

Penelitian terhadap tanaman yang tahan terhadap suhu ekstrem telah berhasil menghasilkan varietas dengan ketahanan terhadap panas yang lebih baik. Salah satunya adalah varietas padi "*Heat Tolerant Rice*" yang dikembangkan untuk bertahan pada suhu yang lebih tinggi. Varietas padi ini mampu mengadaptasi proses fotosintesisnya sehingga tetap efisien meskipun suhu lingkungan meningkat. Dengan kemampuan ini, padi dapat tumbuh dengan baik bahkan di daerah yang sering mengalami gelombang panas atau musim panas yang lebih panjang, yang sebelumnya mengancam hasil pertanian.

4. Varietas Tahan Terhadap Penyakit dan Hama

Penyakit dan hama merupakan ancaman utama yang dapat menurunkan hasil pertanian secara signifikan. Serangan patogen seperti jamur, bakteri, dan virus, serta hama seperti ulat dan kutu, dapat merusak tanaman secara luas, mengurangi kualitas dan kuantitas hasil panen.

Oleh karena itu, pengembangan varietas tanaman yang tidak hanya tahan terhadap stres lingkungan, tetapi juga memiliki ketahanan terhadap penyakit dan hama, menjadi prioritas utama dalam pertanian berkelanjutan. Teknologi bioteknologi, terutama rekayasa genetika, telah membuka peluang untuk menghasilkan tanaman dengan sifat-sifat pertahanan yang lebih kuat dan lebih efisien dalam melawan serangan patogen dan hama.

Salah satu contoh pengembangan varietas tahan penyakit adalah kedelai yang tahan terhadap penyakit rust, yang disebabkan oleh infeksi jamur. Rust merupakan penyakit yang umum menyerang tanaman kedelai, menyebabkan kerusakan yang signifikan pada hasil panen. Lykogianni *et al.* (2021) menunjukkan bahwa melalui teknik rekayasa genetika, varietas kedelai telah dikembangkan dengan gen-gen tertentu yang meningkatkan ketahanan terhadap infeksi rust. Varietas ini menunjukkan toleransi yang lebih baik terhadap serangan jamur, mengurangi kerugian hasil yang disebabkan oleh penyakit tersebut.

E. Teknologi untuk Efisiensi Penggunaan Air

Pertanian merupakan sektor yang sangat bergantung pada air, namun semakin meningkatnya tekanan terhadap sumber daya air global memerlukan solusi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian. Berbagai inovasi teknologi telah diperkenalkan untuk mengurangi pemborosan air dan memastikan keberlanjutan sistem pertanian, khususnya di daerah yang rentan terhadap kekeringan atau memiliki pasokan air terbatas. Teknologi untuk efisiensi penggunaan air dalam pertanian mencakup sistem irigasi cerdas, pengelolaan air berbasis data, dan penerapan teknik konservasi air yang inovatif. Pertanian menyumbang sekitar 70% dari total konsumsi air di dunia, dengan sebagian besar digunakan untuk irigasi tanaman. Namun, perubahan iklim yang menyebabkan kekeringan lebih sering terjadi, serta meningkatnya permintaan air dari sektor lain, membuat efisiensi penggunaan air menjadi prioritas dalam praktik pertanian berkelanjutan.

1. Sistem Irigasi Cerdas (*Smart Irrigation Systems*)

Sistem irigasi cerdas (*smart irrigation systems*) merupakan inovasi teknologi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam sektor pertanian. Dalam sistem ini, teknologi

sensor dan perangkat lunak digunakan untuk memantau kondisi kelembapan tanah, cuaca, serta kebutuhan air tanaman secara real-time. Berdasarkan data yang diperoleh, sistem ini dapat secara otomatis menyesuaikan waktu dan volume pemberian air, sehingga air hanya diberikan saat benar-benar dibutuhkan oleh tanaman. Salah satu contoh paling umum dari sistem ini adalah irigasi tetes yang dipadukan dengan sensor kelembapan tanah, yang dapat mengurangi pemborosan air dan meningkatkan hasil pertanian.

Sistem irigasi tetes bekerja dengan cara mengalirkan air langsung ke akar tanaman, yang mengurangi penguapan dan limpasan yang biasa terjadi pada sistem irigasi tradisional. Dengan memberikan air secara terarah dan efisien, teknologi ini membantu memastikan tanaman mendapatkan pasokan air yang cukup tanpa adanya pemborosan, bahkan di daerah dengan pasokan air yang terbatas. Teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) semakin banyak diterapkan dalam sistem irigasi cerdas. IoT memungkinkan pengumpulan data dari berbagai sensor yang terpasang di ladang dan mengintegrasikannya ke dalam sistem manajemen irigasi yang otomatis. Teknologi ini memungkinkan petani untuk memantau kondisi tanah, kelembapan, suhu, dan cuaca secara langsung melalui aplikasi ponsel pintar, dan bahkan mengatur sistem irigasi dari jarak jauh.

2. Pemanfaatan Big Data dan Analitik untuk Pengelolaan Air

Pemanfaatan big data dan analitik dalam pengelolaan air pertanian telah membawa inovasi besar dalam cara petani mengelola sumber daya air. Dengan memanfaatkan berbagai sumber data seperti data cuaca, kelembapan tanah, dan data historis hasil pertanian, teknologi analitik memungkinkan pemantauan kondisi tanaman dan tanah secara lebih akurat. Data yang dikumpulkan melalui sensor yang terpasang di lapangan digunakan untuk memodelkan pola penggunaan air dan mengidentifikasi kebutuhan irigasi secara spesifik. Platform seperti AquaSpy dan CropX merupakan contoh penerapan big data dalam pertanian yang menggunakan sensor tanah terhubung dengan cloud untuk mengumpulkan dan menganalisis data. Dengan menggunakan teknologi ini, data tentang kelembapan tanah dan kondisi cuaca dapat diperoleh secara real-time, memberikan informasi yang relevan bagi petani untuk menentukan jadwal irigasi yang optimal. Penggunaan sensor cerdas ini membantu meminimalkan pemborosan air, serta

mengurangi stres yang dialami tanaman akibat kurangnya air. Hal ini membuat pengelolaan air menjadi lebih efisien dan mendukung pertanian yang lebih berkelanjutan.

3. Teknologi Pengelolaan Air dalam Lahan Kering dan Semi-Kering

Di wilayah yang rentan terhadap kekeringan, pengelolaan air yang efisien sangat krusial untuk menjaga keberlanjutan pertanian. Salah satu teknologi yang terbukti efektif adalah penggunaan mulching, yaitu penutupan tanah dengan bahan organik atau plastik. Mulching berfungsi untuk mengurangi penguapan air dari permukaan tanah, sehingga membantu menjaga kelembaban tanah dalam jangka waktu yang lebih lama. Berbagai teknik konservasi air juga telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air di daerah kering dan semi-kering. Salah satu teknik yang penting adalah pembuatan sumur resapan, yang berfungsi untuk menyerap air hujan ke dalam tanah dan memperkaya cadangan air tanah. Dengan adanya sumur resapan, air hujan yang biasanya terbuang sia-sia dapat ditampung dan digunakan saat musim kemarau. Selain itu, pengelolaan kolam penampung air hujan juga sangat bermanfaat, di mana air hujan dapat dikumpulkan dan disimpan untuk digunakan pada periode kekeringan.

4. Penggunaan Drone dan Sensor untuk Pemantauan Kondisi Tanah dan Tanaman

Penggunaan drone dan sensor dalam pertanian semakin menjadi solusi canggih untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air. Drone dilengkapi dengan kamera multispektral dan termal yang dapat memantau kondisi tanah dan tanaman secara real-time, mendeteksi pola kelembaban tanah, serta mengidentifikasi area tanaman yang membutuhkan lebih banyak air. Dengan kemampuan ini, drone dapat memberikan data visual yang sangat detail tentang distribusi kelembaban di seluruh area pertanian, memungkinkan petani untuk mengambil tindakan yang lebih tepat dalam pengelolaan air.

Penggunaan drone dalam pemantauan kelembaban tanah memungkinkan petani untuk mengidentifikasi secara akurat area-area yang membutuhkan lebih banyak irigasi. Dengan informasi ini, distribusi air dapat diatur secara lebih efisien, mengurangi pemborosan dan memastikan bahwa tanaman mendapatkan jumlah air yang optimal untuk

tumbuh dengan baik. Teknologi ini sangat penting di daerah-daerah yang kekurangan air, di mana setiap tetes air harus digunakan secara bijaksana. Sensor kelembapan tanah yang dipasang di lapangan juga memberikan kontribusi besar dalam pengelolaan air. Sensor ini dapat dihubungkan langsung dengan sistem irigasi otomatis, sehingga memungkinkan pemberian air yang lebih presisi dan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Dengan sensor yang dapat mengukur kelembapan tanah secara real-time, sistem irigasi otomatis dapat menyesuaikan volume dan waktu pemberian air, menghindari pemberian air yang berlebihan atau kekurangan yang dapat merugikan tanaman.

5. Penggunaan Teknologi Air dan Air Kembali

Pemanfaatan teknologi untuk mendaur ulang air semakin penting dalam upaya meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah pengolahan air limbah, yang dapat mengubah air buangan dan air hujan menjadi sumber air yang dapat digunakan kembali untuk irigasi. Dengan cara ini, ketergantungan pada sumber air bersih dapat dikurangi, yang sangat penting di daerah-daerah yang mengalami keterbatasan pasokan air. Pengolahan air limbah menawarkan solusi berkelanjutan yang mendukung keberlanjutan pertanian.

Salah satu teknologi yang banyak diterapkan untuk pengolahan air adalah *reverse osmosis* (RO). Teknologi ini bekerja dengan cara memisahkan partikel-partikel kontaminan dalam air menggunakan membran semipermeabel, menghasilkan air yang lebih bersih dan aman untuk digunakan kembali. Dalam konteks pertanian, teknologi RO digunakan untuk memurnikan air limbah atau air laut agar dapat digunakan dalam sistem irigasi. Dengan memanfaatkan teknologi ini, air yang sebelumnya tidak dapat digunakan dapat dimanfaatkan untuk mendukung kebutuhan irigasi tanaman, sehingga mengurangi ketergantungan pada sumber daya air yang terbatas.

BAB VII

KEBIJAKAN DAN REGULASI UNTUK PERTANIAN BERKELANJUTAN

Kebijakan dan regulasi yang mendukung pertanian berkelanjutan berperan krusial dalam menciptakan sistem pertanian yang dapat bertahan lama dan beradaptasi dengan tantangan global. Negara-negara di seluruh dunia telah mengembangkan kebijakan yang menggabungkan prinsip keberlanjutan dalam pertanian, mencakup sektor ekonomi, sosial, dan lingkungan. Dalam konteks ini, kebijakan pertanian berkelanjutan bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, meningkatkan ketahanan pangan, serta mendukung kesejahteraan petani dan masyarakat luas. Pengaturan yang tepat memungkinkan para pelaku sektor pertanian untuk menerapkan praktik berkelanjutan, mengurangi penggunaan bahan kimia, dan meningkatkan hasil dengan cara yang ramah lingkungan.

Di banyak negara berkembang, kebijakan pertanian berkelanjutan juga berfungsi sebagai jembatan untuk mengatasi ketimpangan sosial dan ekonomi, memberi kesempatan kepada petani kecil untuk mendapatkan akses ke teknologi, pelatihan, dan sumber daya yang diperlukan. Hal ini penting untuk menciptakan lingkungan yang mendukung inovasi dan meningkatkan daya saing pertanian di pasar global. Kebijakan yang pro-petani, seperti subsidi yang mendukung penerapan teknologi hijau atau insentif untuk pengelolaan tanah yang ramah lingkungan, dapat mempercepat peralihan menuju sistem pertanian yang lebih berkelanjutan.

A. Peran Pemerintah dalam Mendorong Keberlanjutan

Pemerintah memegang peran yang sangat penting dalam mendorong keberlanjutan pertanian melalui kebijakan dan regulasi yang dirancang untuk memastikan bahwa praktik pertanian tidak hanya

menguntungkan secara ekonomi, tetapi juga ramah lingkungan dan sosial. Dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, degradasi lahan, dan ketahanan pangan global, kebijakan pertanian berkelanjutan menjadi krusial untuk menjaga keseimbangan antara produksi pangan yang cukup dan perlindungan sumber daya alam yang mendasari sektor tersebut. Pemerintah memiliki tanggung jawab untuk menciptakan kerangka kerja yang memfasilitasi perubahan dalam industri pertanian melalui kebijakan yang mendukung praktik pertanian berkelanjutan, inovasi teknologi, serta pemanfaatan sumber daya alam secara efisien.

1. Kebijakan Pemerintah untuk Mendorong Pertanian Berkelanjutan

Pemerintah dapat berperan utama dalam mendorong pertanian berkelanjutan melalui kebijakan yang mendukung keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Berbagai kebijakan yang diambil oleh pemerintah untuk meningkatkan keberlanjutan pertanian mencakup insentif untuk praktik pertanian ramah lingkungan, pengaturan penggunaan lahan, dan kebijakan yang mendukung pertanian berbasis ilmiah dan teknologi.

- a. Subsidi dan Insentif untuk Praktik Pertanian Ramah Lingkungan
Kebijakan pemerintah yang memberikan subsidi dan insentif untuk praktik pertanian ramah lingkungan telah menjadi salah satu pendekatan utama dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Subsidi ini sering kali difokuskan pada petani yang mengadopsi teknologi atau metode pertanian yang mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pertanian organik, penggunaan teknologi irigasi efisien, serta pengelolaan tanah dan air yang lebih baik. Dengan adanya insentif ini, petani didorong untuk beralih ke teknik-teknik yang tidak hanya meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga menjaga kelestarian lingkungan, seperti mengurangi penggunaan pestisida kimia atau mengimplementasikan rotasi tanaman.

Kebijakan subsidi yang diberikan dalam bentuk pendanaan atau bantuan teknis telah terbukti mempercepat adopsi teknologi baru yang mendukung keberlanjutan pertanian. Misalnya, petani yang mendapatkan subsidi untuk membeli alat irigasi tetes atau sistem irigasi berbasis sensor dapat menghemat air, yang menjadi salah satu sumber daya yang semakin terbatas. Dengan subsidi

semacam ini, biaya implementasi teknologi yang lebih ramah lingkungan menjadi lebih terjangkau, memungkinkan lebih banyak petani untuk berpartisipasi dalam praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

b. **Pengaturan Penggunaan Lahan dan Konservasi Sumber Daya Alam**

Pengaturan penggunaan lahan yang efektif merupakan salah satu kebijakan penting yang diambil pemerintah untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Kebijakan ini bertujuan untuk memastikan bahwa lahan digunakan secara efisien dan tidak merusak lingkungan. Salah satu bentuk kebijakan yang sering diterapkan adalah pembatasan konversi lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian, seperti untuk pemukiman atau industri. Kebijakan ini bertujuan untuk melindungi ketahanan pangan dengan memastikan ketersediaan lahan untuk produksi pertanian yang berkelanjutan. Selain itu, pengaturan ini juga dapat mencakup perlindungan terhadap kawasan hutan dan area yang rentan terhadap degradasi lingkungan.

Kebijakan zonasi adalah salah satu pendekatan yang sering diterapkan untuk pengaturan penggunaan lahan. Melalui kebijakan ini, pemerintah dapat menentukan area tertentu yang harus dilindungi dari konversi, seperti daerah rawan bencana alam, daerah yang memiliki potensi untuk mengalami degradasi tanah, atau daerah dengan ketersediaan air yang terbatas. Di sisi lain, kebijakan zonasi juga mengatur pemanfaatan lahan pertanian dengan memperhatikan kesesuaian lahan dan kapasitasnya untuk mendukung jenis-jenis pertanian tertentu, mencegah praktik pertanian yang tidak ramah lingkungan seperti penanaman monokultur yang berlebihan.

2. Peran Regulasi Lingkungan dalam Pertanian Berkelanjutan

Regulasi lingkungan adalah bagian integral dari kebijakan pemerintah dalam memastikan pertanian yang berkelanjutan. Pemerintah melalui undang-undang dan peraturan yang ketat dapat memastikan bahwa praktik pertanian tidak merusak lingkungan dan tetap mengedepankan prinsip keberlanjutan. Regulasi ini mencakup berbagai aspek, mulai dari pengelolaan limbah pertanian, kualitas air dan tanah, hingga penggunaan pestisida dan pupuk.

a. Pengelolaan Limbah Pertanian dan Polusi

Regulasi yang mengatur pengelolaan limbah pertanian berperan penting dalam memastikan bahwa sektor pertanian beroperasi secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Limbah pertanian, seperti sisa pestisida, pupuk kimia, dan limbah organik, dapat mencemari tanah, air, dan udara jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah untuk menetapkan aturan yang mengatur pengelolaan limbah ini secara tepat. Salah satu langkah yang dapat diambil adalah pemberian insentif untuk petani yang menerapkan teknologi pengolahan limbah pertanian, seperti biogas dari limbah ternak atau kompos dari sisa tanaman. Teknologi-teknologi ini tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga memungkinkan petani untuk memanfaatkan limbah sebagai sumber daya yang berguna (Singh *et al.*, 2022).

Penerapan regulasi pengelolaan limbah pertanian yang ketat dapat membantu mengurangi pencemaran yang diakibatkan oleh penggunaan pestisida dan pupuk kimia secara berlebihan. Pupuk kimia yang tidak terserap oleh tanaman dapat mencemari air tanah dan sungai, menyebabkan eutrofikasi dan kerusakan ekosistem air. Sementara itu, sisa pestisida yang tercemar di tanah dapat mengurangi kesuburan tanah dan berdampak buruk pada kesehatan manusia dan hewan. Dengan pengelolaan yang baik, limbah pertanian dapat diubah menjadi produk bernilai, seperti pupuk organik atau energi terbarukan, yang membantu mengurangi ketergantungan pada bahan kimia dan sumber daya alam lainnya.

b. Penggunaan Pestisida dan Pupuk yang Efisien

Regulasi yang mengatur penggunaan pestisida dan pupuk sangat penting untuk mendorong keberlanjutan dalam sektor pertanian. Penggunaan pestisida kimia yang berlebihan dapat menyebabkan kontaminasi tanah dan air, mengurangi keanekaragaman hayati, serta membahayakan kesehatan manusia dan hewan. Oleh karena itu, banyak negara mulai mengimplementasikan kebijakan yang membatasi penggunaan pestisida berbahan kimia dan mempromosikan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satunya adalah dengan mendorong penggunaan pestisida alami

atau berbasis bioteknologi yang lebih aman bagi ekosistem, tetapi tetap efektif dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Kebijakan regulasi juga dapat mencakup program pelatihan dan edukasi untuk petani mengenai teknik pengelolaan hama dan penyakit secara alami dan terpadu. Misalnya, metode pengelolaan hama terpadu (*Integrated Pest Management/IPM*) menggabungkan berbagai teknik, seperti penggunaan predator alami, rotasi tanaman, dan pemilihan varietas tanaman tahan hama. Melalui pelatihan ini, petani dapat memahami cara-cara mengelola hama dan penyakit secara efektif tanpa bergantung pada pestisida kimia yang berisiko merusak lingkungan.

3. Pemanfaatan Teknologi untuk Keberlanjutan Pertanian

Pemerintah juga berperan penting dalam mendukung pengembangan dan adopsi teknologi yang mendukung pertanian berkelanjutan. Dengan memberikan dukungan kepada penelitian dan pengembangan (R&D) serta menyediakan fasilitas untuk uji coba teknologi baru, pemerintah dapat mempercepat adopsi teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pertanian.

a. Investasi dalam Riset dan Inovasi Pertanian

Investasi pemerintah dalam riset dan inovasi pertanian berperan vital dalam mendorong keberlanjutan sektor pertanian. Dengan mendanai penelitian di berbagai bidang, seperti bioteknologi, sistem irigasi pintar, dan robotika pertanian, pemerintah dapat membantu menciptakan solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Sebagai contoh, pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap perubahan iklim, hama, dan penyakit dapat mengurangi ketergantungan pada penggunaan pestisida dan pupuk kimia, yang sering kali merusak lingkungan dan mengurangi keberagaman hayati. Dengan demikian, riset ini tidak hanya meningkatkan ketahanan pangan, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem.

Teknologi irigasi pintar yang dikembangkan melalui riset dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian. Sistem irigasi yang dilengkapi dengan sensor dan teknologi analitik memungkinkan pemberian air yang tepat sasaran, sesuai dengan kebutuhan tanaman pada setiap fase pertumbuhannya. Hal ini sangat penting di daerah-daerah dengan ketersediaan air terbatas.

Dengan investasi dalam riset dan teknologi semacam ini, petani dapat meningkatkan hasil pertanian tanpa meningkatkan penggunaan air atau merusak lingkungan.

b. Peningkatan Akses Teknologi dan Pelatihan bagi Petani

Peningkatan akses teknologi bagi petani merupakan langkah krusial dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Program pelatihan dan penyuluhan yang efektif berperan penting dalam meningkatkan pemahaman petani tentang manfaat teknologi baru serta cara mengimplementasikannya. Misalnya, dengan memberikan informasi mengenai teknologi irigasi efisien, penggunaan pestisida ramah lingkungan, atau teknik budidaya yang lebih berkelanjutan, petani dapat mengurangi ketergantungan pada input kimia yang merusak tanah dan air. Program pelatihan juga membantu petani untuk memahami cara memaksimalkan hasil pertanian dengan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Akses terhadap pembiayaan juga menjadi faktor penting dalam mempercepat adopsi teknologi oleh petani. Banyak petani, terutama yang berada di daerah pedesaan, menghadapi tantangan finansial yang membatasi kemampuan untuk membeli peralatan atau teknologi modern. Pemerintah dapat berperan besar dengan menyediakan kredit atau bantuan keuangan yang memungkinkan petani untuk berinvestasi dalam alat dan teknologi baru. Hal ini juga dapat mencakup subsidi untuk pembelian sistem irigasi pintar, alat pengelola hama alami, atau bahkan teknologi pertanian presisi yang memungkinkan efisiensi lebih tinggi dengan biaya yang lebih rendah.

4. Kebijakan Ketahanan Pangan dan Perubahan Iklim

Perubahan iklim telah menjadi tantangan besar bagi ketahanan pangan global, memengaruhi pola cuaca, ketersediaan air, serta kualitas tanah yang sangat penting bagi produksi pertanian. Oleh karena itu, kebijakan pemerintah yang mengintegrasikan ketahanan pangan dengan adaptasi terhadap perubahan iklim menjadi sangat penting. Pemerintah perlu menciptakan kebijakan yang mendukung penelitian untuk memahami dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian dan merumuskan strategi mitigasi yang efektif. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah dengan mendorong penelitian untuk

mengidentifikasi varietas tanaman yang lebih tahan terhadap suhu ekstrem, kekeringan, atau salinitas tinggi, yang bisa bertahan di bawah kondisi iklim yang semakin tidak menentu.

Pemerintah juga dapat memperkenalkan kebijakan yang mendorong pertanian berbasis agroekologi sebagai alternatif terhadap sistem pertanian konvensional yang lebih rentan terhadap perubahan iklim. Agroekologi menggabungkan prinsip-prinsip ekologi dengan praktek pertanian untuk menciptakan sistem yang lebih resilien dan berkelanjutan. Program-program yang mendukung praktek-praktek seperti rotasi tanaman, pengelolaan hama alami, serta penggunaan pupuk organik akan membantu petani beradaptasi dengan perubahan iklim tanpa mengorbankan keberlanjutan lingkungan. Dengan mengintegrasikan agroekologi ke dalam kebijakan pertanian, pemerintah dapat membantu meningkatkan ketahanan pangan sekaligus menjaga kelestarian alam.

B. Kebijakan Subsidi dan Insentif untuk Praktik Berkelanjutan

Subsidi dan insentif dalam konteks pertanian berkelanjutan merujuk pada bantuan finansial, bantuan teknis, atau pengurangan biaya yang diberikan oleh pemerintah kepada petani atau pelaku sektor pertanian yang menerapkan praktik-praktik ramah lingkungan. Tujuan utama dari kebijakan ini adalah untuk mendorong perubahan dalam cara bertani, memastikan bahwa pertanian dapat terus berproduksi dengan cara yang mengurangi tekanan terhadap sumber daya alam dan memitigasi perubahan iklim. Kebijakan ini sering kali berupa pembayaran langsung, insentif pajak, atau penyediaan dana untuk penelitian dan pengembangan teknologi baru yang dapat meningkatkan keberlanjutan pertanian. Sebagai contoh, negara-negara di Eropa, seperti Prancis dan Jerman, memberikan subsidi langsung kepada petani yang menerapkan pertanian organik atau menggunakan metode pengelolaan tanah yang ramah lingkungan, seperti rotasi tanaman dan konservasi tanah.

1. Subsidi untuk Penggunaan Teknologi Ramah Lingkungan

Subsidi untuk teknologi ramah lingkungan merupakan salah satu kebijakan penting yang diterapkan pemerintah untuk mendukung keberlanjutan sektor pertanian. Dengan memberikan subsidi kepada

petani yang mengadopsi teknologi efisien dan ramah lingkungan, pemerintah membantu meringankan biaya awal yang diperlukan untuk beralih ke teknologi baru yang lebih berkelanjutan. Salah satu contoh yang paling signifikan adalah subsidi untuk sistem irigasi efisien, seperti irigasi tetes. Teknologi ini memungkinkan petani untuk memberikan air langsung ke akar tanaman, mengurangi pemborosan akibat penguapan dan limpasan. Di daerah yang rentan terhadap kekeringan, penggunaan irigasi tetes dapat meningkatkan hasil pertanian secara signifikan, sementara tetap menghemat sumber daya air yang semakin terbatas.

Subsidi untuk irigasi efisien telah terbukti meningkatkan produktivitas pertanian di banyak wilayah yang rawan kekeringan. Dengan bantuan subsidi, petani yang awalnya enggan beralih ke teknologi irigasi canggih dapat memperoleh akses ke teknologi yang lebih hemat air, yang pada gilirannya mengurangi tekanan terhadap sumber daya air lokal. Selain itu, irigasi efisien dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan meningkatkan kualitas hasil pertanian, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan ketahanan pangan di daerah tersebut.

2. Insentif untuk Pertanian Organik dan Agroekologi

Insentif untuk pertanian organik dan agroekologi menjadi bagian penting dari kebijakan pemerintah yang mendukung pertanian berkelanjutan. Dalam menghadapi tantangan lingkungan yang semakin kompleks, seperti degradasi tanah, pencemaran air, dan berkurangnya keanekaragaman hayati, banyak negara memberikan insentif untuk membantu petani beralih dari pertanian konvensional yang bergantung pada bahan kimia menuju praktik yang lebih ramah lingkungan. Di Indonesia, misalnya, pemerintah menyediakan subsidi untuk biaya sertifikasi pertanian organik, pelatihan bagi petani, dan promosi produk organik, yang membantu meningkatkan daya saing produk pertanian organik di pasar domestik dan internasional.

Salah satu tujuan utama dari insentif ini adalah mengurangi ketergantungan pada pestisida dan bahan kimia berbahaya yang sering digunakan dalam pertanian konvensional. Penggunaan pestisida sintetis yang berlebihan dapat mencemari tanah dan air, merusak keanekaragaman hayati, serta mempengaruhi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Dengan memberikan dukungan finansial dan

teknis, pemerintah mendorong petani untuk beralih ke pertanian organik yang lebih memperhatikan keberlanjutan ekosistem dan kesehatan tanah.

3. Pembayaran untuk Layanan Lingkungan (*Payments for Environmental Services*)

Pembayaran untuk Layanan Lingkungan (PES) merupakan salah satu inovasi kebijakan yang semakin diterapkan untuk mendukung keberlanjutan dan konservasi alam di sektor pertanian. Melalui PES, pemerintah memberikan kompensasi finansial kepada petani atau pengelola lahan yang berpartisipasi dalam program konservasi, seperti perlindungan hutan, restorasi lahan terdegradasi, atau pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Program ini bertujuan untuk menciptakan insentif ekonomi bagi petani agar tidak hanya fokus pada hasil pertanian, tetapi juga pada pelestarian lingkungan yang dapat memberi manfaat jangka panjang.

PES memiliki peran penting dalam mengatasi masalah deforestasi dan kerusakan lingkungan lainnya yang sering disebabkan oleh aktivitas pertanian yang tidak berkelanjutan. Menurut laporan oleh Wunder *et al.* (2021), kebijakan PES telah terbukti efektif dalam mengurangi deforestasi dengan memberi kompensasi kepada petani yang menjaga hutan atau tidak mengalihfungsikan lahan hutan menjadi lahan pertanian. Dengan adanya insentif tersebut, petani dapat memperoleh penghasilan tambahan tanpa merusak lingkungan, menciptakan keseimbangan antara pertanian dan konservasi alam.

C. Regulasi Lingkungan dan Pengawasan Praktik Pertanian

Pertanian berkelanjutan tidak hanya melibatkan inovasi dalam teknologi dan praktik pertanian, tetapi juga membutuhkan dukungan dari kebijakan dan regulasi yang ketat terkait dengan perlindungan lingkungan. Regulasi lingkungan yang efektif dapat mendorong praktik pertanian yang tidak hanya menghasilkan produk yang berkualitas tetapi juga menjaga keberlanjutan ekosistem dan sumber daya alam. Regulasi lingkungan berperan krusial dalam membatasi dampak negatif dari praktik pertanian terhadap lingkungan. Aktivitas pertanian, terutama yang dilakukan secara intensif, dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan, seperti degradasi tanah, polusi air, emisi gas rumah kaca, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, regulasi

lingkungan bertujuan untuk mengatur penggunaan sumber daya alam, mengurangi pencemaran, dan memastikan bahwa pertanian dapat dilakukan dengan cara yang menjaga keseimbangan ekosistem.

Regulasi ini juga mendukung keberlanjutan pertanian dengan mendorong petani untuk mengadopsi praktik-praktik yang lebih ramah lingkungan, seperti pertanian organik, pengelolaan air yang efisien, serta penggunaan pupuk dan pestisida yang lebih aman dan terkendali. Salah satu tujuan utama dari regulasi ini adalah memastikan bahwa pertanian tidak merusak lingkungan, tetapi justru mendukungnya melalui praktek-praktek yang mendukung ekosistem lokal dan global.

1. Jenis-jenis Regulasi Lingkungan yang Mempengaruhi Praktik Pertanian

a. Regulasi Pengelolaan Sumber Daya Alam

Regulasi pengelolaan sumber daya alam berperan penting dalam menciptakan pertanian yang berkelanjutan dengan cara memastikan bahwa sumber daya seperti tanah, air, dan udara dikelola secara efisien dan ramah lingkungan. Salah satu fokus utama dari regulasi ini adalah pengelolaan air untuk irigasi, mengingat pentingnya air dalam produksi pertanian dan tantangan kekeringan yang dihadapi di banyak wilayah. Banyak negara telah mengimplementasikan kebijakan yang membatasi penggunaan air untuk irigasi, dengan tujuan mengurangi pemborosan dan menjaga keberlanjutan sumber daya air. Selain itu, pemerintah sering memberikan insentif bagi petani yang mengadopsi teknologi irigasi yang lebih efisien, seperti irigasi tetes atau sistem irigasi otomatis yang mengoptimalkan penggunaan air.

Regulasi yang mengatur pemeliharaan kualitas tanah juga penting untuk mempertahankan kesuburan tanah dan mencegah degradasi. Banyak negara telah menetapkan aturan yang membatasi penggunaan pupuk dan pestisida kimia, yang jika digunakan secara berlebihan dapat merusak kualitas tanah dan mengkontaminasi sumber daya air. Regulasi ini bertujuan untuk mendorong petani agar beralih ke penggunaan pupuk organik dan teknik pertanian yang lebih ramah lingkungan, seperti rotasi tanaman atau penggunaan pestisida alami. Pengelolaan kualitas

tanah yang baik juga mendukung ketahanan pertanian terhadap erosi dan degradasi tanah.

b. Pengaturan Penggunaan Pestisida dan Pupuk Kimia

Penggunaan pestisida dan pupuk kimia dalam pertanian konvensional telah terbukti meningkatkan hasil produksi pertanian dalam jangka pendek. Namun, penggunaan bahan kimia ini memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan, termasuk pencemaran tanah, air, dan kerusakan ekosistem. Oleh karena itu, regulasi yang mengatur penggunaan pestisida dan pupuk kimia sangat penting untuk memitigasi risiko tersebut. Regulasi ini dapat mencakup pembatasan terhadap jenis bahan kimia yang diperbolehkan, pengawasan ketat terhadap jumlah dan frekuensi aplikasinya, serta penetapan standar residu pestisida dalam produk pertanian untuk melindungi konsumen. Dengan kebijakan yang tepat, pemerintah dapat mengurangi dampak negatif dari bahan kimia ini dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

Beberapa negara, terutama di kawasan Eropa, telah mengimplementasikan kebijakan yang ketat untuk mengurangi ketergantungan pada pestisida dan pupuk kimia. Uni Eropa, misalnya, memiliki regulasi yang membatasi kandungan residu pestisida dalam produk pertanian, yang bertujuan untuk melindungi konsumen dan lingkungan. Kebijakan ini mencakup sistem pemantauan yang ketat terhadap penggunaan pestisida dan pupuk kimia, serta pemberian insentif bagi petani yang beralih ke praktik pertanian organik atau menggunakan teknologi ramah lingkungan. Ini termasuk subsidi untuk penggunaan pestisida alami atau teknik pengendalian hama berbasis bioteknologi yang lebih ramah lingkungan.

c. Konservasi Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati memegang peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Berbagai spesies tanaman, hewan, dan mikroorganisme saling berinteraksi dalam sistem pertanian yang sehat, yang pada gilirannya mendukung ketahanan pangan dan produktivitas pertanian. Oleh karena itu, banyak negara menerapkan regulasi yang bertujuan untuk melindungi keanekaragaman hayati, termasuk mengatur praktik pertanian yang dapat mengancam keberlanjutan habitat alami.

Salah satu bentuk regulasi ini adalah perlindungan terhadap spesies tanaman atau hewan langka yang berperan penting dalam ekosistem pertanian, seperti penanaman tanaman yang dapat mendukung keberagaman hayati atau pembatasan terhadap penggunaan pestisida yang dapat merusak spesies non-target.

Regulasi lainnya adalah pembatasan konversi lahan pertanian menjadi lahan untuk pembangunan, yang dapat menyebabkan hilangnya habitat alami dan berkurangnya keanekaragaman spesies. Kebijakan ini biasanya mencakup pengaturan mengenai pemanfaatan lahan yang lebih efisien dan berkelanjutan, dengan memberi insentif untuk pertanian yang mengutamakan konservasi alam, seperti pertanian berbasis agroekologi atau permukiman yang memadukan kegiatan pertanian dengan pelestarian alam. Dengan cara ini, pemerintah berupaya menjaga habitat alami yang menjadi tempat hidup berbagai spesies dan mendukung ketahanan ekosistem pertanian yang sehat.

2. Pengawasan Terhadap Praktik Pertanian

a. Penerapan Teknologi untuk Pengawasan Lingkungan

Pengawasan terhadap praktik pertanian semakin penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan dan mencegah kerusakan akibat kegiatan pertanian yang tidak terkendali. Dengan kemajuan teknologi, kini pengawasan terhadap aktivitas pertanian bisa dilakukan secara lebih efisien dan real-time. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah drone, yang memungkinkan pengawasan visual secara langsung terhadap lahan pertanian. Drone dapat dilengkapi dengan berbagai sensor untuk mengukur parameter seperti kelembapan tanah, suhu, dan tingkat pemupukan. Dengan kemampuan ini, drone dapat membantu mendeteksi apakah praktik pertanian, seperti irigasi atau penggunaan pupuk, sudah sesuai dengan standar keberlanjutan atau malah berisiko merusak lingkungan.

Sensor yang terpasang pada drone atau perangkat lain juga bisa digunakan untuk memantau polusi yang dihasilkan oleh limbah pertanian, seperti pestisida atau pupuk yang tumpah ke lingkungan sekitar. Dengan data yang dikumpulkan, pengawasan dapat dilakukan lebih cepat dan akurat, sehingga jika terjadi penyimpangan atau pelanggaran terhadap regulasi lingkungan,

langkah perbaikan bisa segera diambil. Teknologi ini juga mengurangi ketergantungan pada metode pengawasan manual yang bisa lebih lambat dan memerlukan lebih banyak sumber daya.

b. Peran Pemerintah dan Lembaga Pengawasan dalam Menegakkan Regulasi

Pemerintah dan lembaga pengawasan berperan yang sangat penting dalam menegakkan regulasi lingkungan di sektor pertanian. Bertanggung jawab untuk memastikan bahwa petani dan pelaku industri pertanian mematuhi aturan yang telah ditetapkan untuk melindungi lingkungan. Salah satu cara untuk menegakkan regulasi ini adalah melalui pengawasan yang ketat dan inspeksi rutin terhadap kegiatan pertanian. Lembaga seperti Badan Pengendalian Lingkungan Hidup di banyak negara memiliki tugas untuk mengawasi praktik pertanian dan memastikan bahwa petani mengikuti pedoman yang berkaitan dengan pengelolaan air, tanah, dan penggunaan bahan kimia. Pengawasan ini penting untuk mengidentifikasi praktik yang dapat merusak ekosistem dan melanggar peraturan yang ada.

Pemerintah juga memiliki peran dalam memberikan pelatihan dan edukasi kepada petani tentang praktik pertanian yang ramah lingkungan. Melalui program-program pelatihan, pemerintah dapat meningkatkan pemahaman petani mengenai pentingnya keberlanjutan dan cara-cara untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Misalnya, pelatihan tentang teknik irigasi efisien atau penggunaan pestisida ramah lingkungan dapat membantu petani untuk mematuhi regulasi dan mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya. Program edukasi ini juga sering kali melibatkan kerja sama dengan lembaga swadaya masyarakat atau organisasi lingkungan untuk menjangkau lebih banyak petani.

D. Kerjasama Internasional dalam Keberlanjutan Pertanian

Kerjasama internasional berperan yang sangat penting dalam memajukan pertanian berkelanjutan di seluruh dunia. Mengingat tantangan yang dihadapi oleh sektor pertanian global seperti perubahan iklim, degradasi lahan, kelangkaan air, dan masalah ketahanan pangan

kerjasama antarnegara dan organisasi internasional menjadi hal yang sangat penting. Kerjasama ini mencakup berbagi pengetahuan, teknologi, praktik terbaik, dan sumber daya finansial yang dapat mempercepat transisi menuju sistem pertanian yang lebih berkelanjutan.

1. Organisasi Internasional dan Forum Multilateral

Banyak organisasi internasional dan forum multilateral yang menjadi wadah penting dalam mendorong kerjasama internasional dalam pertanian berkelanjutan. Di antaranya adalah:

a. FAO (*Food and Agriculture Organization*)

FAO (*Food and Agriculture Organization*) adalah salah satu organisasi internasional yang berperan penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan di seluruh dunia. Sebagai lembaga yang berada di bawah naungan PBB, FAO bertanggung jawab untuk memimpin upaya internasional dalam meningkatkan ketahanan pangan dan mengatasi masalah terkait pertanian, kehutanan, perikanan, dan pembangunan pedesaan. Salah satu fokus utama FAO adalah menyediakan dukungan teknis dan pengetahuan yang diperlukan untuk mendorong praktik pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dalam hal ini, FAO mengembangkan pedoman teknis yang dapat diterapkan oleh negara-negara anggota untuk meningkatkan produktivitas pertanian tanpa merusak lingkungan.

FAO juga memberikan pelatihan kepada petani, pejabat pemerintah, dan pihak-pihak terkait lainnya untuk memperkenalkan metode pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan. Program pelatihan ini mencakup berbagai aspek, mulai dari pengelolaan tanah, penggunaan teknologi irigasi efisien, hingga penerapan pertanian organik dan agroekologi. Dengan menyebarkan pengetahuan ini, FAO membantu negara-negara untuk mengurangi ketergantungan pada bahan kimia yang merusak lingkungan, serta meningkatkan kesadaran tentang pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem dalam produksi pangan.

b. UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*)

UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) adalah organisasi internasional yang memiliki peran

krusial dalam mengatasi dampak perubahan iklim global, termasuk dampaknya terhadap sektor pertanian. Sejak dibentuk pada tahun 1992, UNFCCC telah menyediakan platform bagi negara-negara untuk bernegosiasi, berbagi informasi, dan berkolaborasi dalam upaya mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Dalam konteks pertanian, perubahan iklim memberikan tantangan besar, mulai dari ketahanan pangan hingga gangguan terhadap pola curah hujan dan suhu yang dapat memengaruhi hasil pertanian. UNFCCC berperan dalam memfasilitasi kerjasama internasional untuk membantu negara-negara dalam menghadapi tantangan ini.

Salah satu inisiatif penting di bawah UNFCCC adalah Program Adaptasi Pertanian, yang dirancang untuk membantu negara-negara berkembang mengadaptasi praktik pertanian dengan kondisi iklim yang berubah. Program ini mencakup pemberian bantuan teknis dan keuangan untuk mengembangkan dan menerapkan solusi pertanian yang dapat mengurangi kerugian akibat perubahan iklim. Di dalamnya, negara-negara bekerja sama untuk mengidentifikasi praktik pertanian yang lebih tahan terhadap perubahan cuaca ekstrem, seperti pengenalan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kekeringan atau banjir, serta penggunaan teknologi untuk efisiensi air dan pengelolaan tanah yang lebih baik.

c. *CBD (Convention on Biological Diversity)*

Convention on Biological Diversity (CBD) adalah perjanjian internasional yang bertujuan untuk melindungi keanekaragaman hayati di seluruh dunia. Ditandatangani pada tahun 1992, CBD mengakui pentingnya keberagaman hayati bagi keseimbangan ekosistem dan kelangsungan hidup manusia, termasuk dalam sektor pertanian. Keanekaragaman hayati yang kaya berperan penting dalam pertanian berkelanjutan, baik dalam hal ketahanan tanaman, kesehatan tanah, maupun perlindungan terhadap hama dan penyakit. Oleh karena itu, CBD mengintegrasikan prinsip-prinsip perlindungan keanekaragaman hayati dalam kebijakan dan praktik pertanian untuk memastikan keberlanjutan sektor ini. Kerjasama dalam kerangka CBD melibatkan negara-negara yang berkomitmen untuk melindungi habitat alami dan spesies yang terancam punah, yang merupakan aspek penting dalam

mendukung pertanian berkelanjutan. Salah satu fokus utama CBD adalah pengelolaan sumber daya alam yang tidak hanya berorientasi pada produksi pangan tetapi juga memperhatikan pelestarian spesies dan ekosistem yang mendukungnya. Negara-negara pihak CBD diajak untuk mengimplementasikan kebijakan yang menggabungkan upaya konservasi dan produksi pertanian yang berkelanjutan, seperti penerapan praktek agroekologi yang mempertahankan fungsi ekosistem alami.

- d. *GACSA (Global Alliance for Climate-Smart Agriculture)*
Global Alliance for Climate-Smart Agriculture (GACSA) adalah inisiatif internasional yang bertujuan untuk mempromosikan pertanian cerdas iklim sebagai solusi untuk tantangan perubahan iklim dalam sektor pertanian. Dibentuk pada tahun 2014, GACSA menyatukan pemerintah, sektor swasta, masyarakat sipil, serta organisasi internasional untuk bekerja sama dalam menciptakan sistem pertanian yang lebih adaptif dan tahan terhadap perubahan iklim. Tujuan utama GACSA adalah untuk meningkatkan ketahanan pangan, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan meningkatkan produktivitas pertanian melalui penerapan praktik pertanian yang cerdas terhadap iklim. Salah satu fokus utama GACSA adalah mendorong adopsi praktik pertanian yang dapat mengurangi dampak negatif perubahan iklim. Ini termasuk pengelolaan tanah yang lebih baik, penggunaan teknologi yang efisien dalam penggunaan air dan energi, serta pengurangan penggunaan bahan kimia yang dapat merusak ekosistem. Selain itu, GACSA berupaya memfasilitasi transfer pengetahuan dan teknologi antara negara berkembang dan maju untuk mengimplementasikan sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Praktik pertanian cerdas iklim yang dipromosikan oleh GACSA juga meliputi diversifikasi tanaman dan peningkatan penggunaan sumber daya alam secara lebih efisien.

2. Pertukaran Pengetahuan dan Teknologi

Salah satu aspek paling penting dalam kerjasama internasional adalah transfer teknologi dan pengetahuan. Negara-negara dengan tingkat teknologi pertanian yang lebih maju dapat berbagi inovasi dan

praktik terbaik dengan negara-negara berkembang. Beberapa contoh penting dari inisiatif ini antara lain:

a. Platform Pengetahuan untuk Pertanian Berkelanjutan

Platform pengetahuan internasional berperan penting dalam memfasilitasi pertukaran informasi dan teknologi antara negara-negara yang berfokus pada pertanian berkelanjutan. Agri-Tech East, misalnya, adalah platform yang menghubungkan inovator, pengusaha, dan ilmuwan dalam bidang teknologi pertanian. Melalui forum-forum ini, berbagai pihak dapat berbagi pengetahuan tentang teknologi terbaru yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian sambil menjaga kelestarian lingkungan. Platform seperti Agri-Tech East juga memperkenalkan solusi teknologi yang dapat diadaptasi oleh negara-negara dengan kondisi pertanian yang beragam, termasuk penggunaan sensor untuk pemantauan tanaman, sistem irigasi pintar, dan bioteknologi untuk ketahanan tanaman.

International Food Policy Research Institute (IFPRI) juga merupakan platform utama yang memfasilitasi pertukaran pengetahuan global tentang kebijakan pangan dan pertanian berkelanjutan. IFPRI melakukan penelitian yang mendalam mengenai dampak perubahan iklim terhadap ketahanan pangan dan berbagi hasilnya dengan negara-negara di seluruh dunia. Melalui publikasi, seminar, dan kolaborasi dengan lembaga internasional lainnya, IFPRI membantu pembuat kebijakan untuk merumuskan strategi pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan. IFPRI juga menawarkan solusi berbasis data untuk meningkatkan akses petani terhadap teknologi yang dapat mengurangi pemborosan sumber daya alam dan meningkatkan ketahanan pangan.

b. Program Riset dan Pengembangan Bersama

Program riset dan pengembangan bersama antara negara-negara memiliki potensi besar untuk mengatasi tantangan pertanian berkelanjutan yang dihadapi dunia, terutama terkait dengan perubahan iklim. Salah satu area penting dari kolaborasi ini adalah pengembangan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi ekstrem, seperti suhu tinggi, kekeringan, atau salinitas. Negara-negara yang memiliki tantangan serupa, seperti negara-negara Asia dan Afrika yang sering mengalami salinitas

tanah, dapat berkolaborasi dalam riset untuk mengembangkan varietas padi yang lebih tahan terhadap garam. Kerjasama ini memungkinkan pertukaran pengetahuan, teknologi, dan sumber daya yang sangat diperlukan untuk menciptakan solusi yang dapat digunakan di berbagai belahan dunia.

Sebagai contoh kemitraan antara negara-negara Asia dan Afrika dalam penelitian pengembangan varietas padi tahan salinitas menggabungkan keahlian ilmuwan dari kedua kawasan. Negara-negara Asia yang memiliki pengalaman luas dalam pertanian padi bekerja sama dengan negara-negara Afrika yang mulai menghadapi ancaman salinitas akibat perubahan iklim dan perubahan penggunaan lahan. Dalam riset ini, teknologi dan teknik pertanian mutakhir, seperti rekayasa genetika dan seleksi pemuliaan, digunakan untuk menciptakan varietas yang tidak hanya dapat tumbuh di lahan salin, tetapi juga dapat mempertahankan hasil yang optimal. Kolaborasi ini mengurangi biaya penelitian dan mempercepat adopsi solusi di lapangan.

3. Pembiayaan dan Dukungan Finansial

Pertanian berkelanjutan membutuhkan investasi yang signifikan dalam hal infrastruktur, riset, dan pengembangan teknologi. Oleh karena itu, pembiayaan internasional sangat penting. Beberapa contoh kerjasama finansial internasional untuk mendukung pertanian berkelanjutan termasuk:

a. *Green Climate Fund (GCF)*

Green Climate Fund (GCF) merupakan salah satu instrumen penting dalam upaya global untuk mendukung negara-negara berkembang menghadapi dampak perubahan iklim, termasuk dalam sektor pertanian berkelanjutan. GCF menyediakan pendanaan bagi proyek-proyek yang dirancang untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim. Khususnya dalam pertanian, GCF mendukung berbagai inisiatif yang bertujuan untuk mengembangkan sistem pertanian yang lebih adaptif dan berkelanjutan, seperti peningkatan penggunaan teknologi irigasi efisien, pengelolaan tanah yang ramah lingkungan, dan pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap kondisi iklim ekstrem.

Dengan GCF, negara-negara berkembang dapat memperoleh pembiayaan untuk implementasi solusi inovatif yang mendukung ketahanan pangan dan mitigasi perubahan iklim. Misalnya, GCF memberikan dukungan finansial untuk program yang mengintegrasikan praktik pertanian cerdas iklim (*climate-smart agriculture*) yang bertujuan meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi emisi gas rumah kaca. Ini termasuk pemberian subsidi untuk teknologi pertanian yang ramah lingkungan, seperti sistem irigasi tetes yang hemat air atau penggunaan pupuk yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Dengan adanya pendanaan ini, petani di negara berkembang dapat mengakses teknologi yang lebih baik dan memperbaiki praktik pertanian tanpa terbebani oleh biaya tinggi.

b. *World Bank and International Fund for Agricultural Development (IFAD)*

World Bank dan International Fund for Agricultural Development (IFAD) berperan penting dalam mendukung negara-negara berkembang dalam mencapai ketahanan pangan dan mengimplementasikan pertanian berkelanjutan. Kedua lembaga ini memberikan pembiayaan untuk proyek-proyek yang bertujuan meningkatkan produktivitas pertanian, memperbaiki infrastruktur pertanian, dan mendorong adopsi teknologi ramah lingkungan. World Bank, misalnya, menyediakan dana untuk proyek-proyek besar yang berkaitan dengan peningkatan sistem irigasi, penyuluhan petani, serta pengembangan infrastruktur pasar pertanian yang lebih efisien. Dukungan finansial ini membantu negara-negara berkembang memperkuat sektor pertanian, yang merupakan sumber utama mata pencaharian bagi jutaan orang.

IFAD berfokus pada pengentasan kemiskinan pedesaan dan meningkatkan ketahanan pangan melalui program-program yang lebih terarah pada kelompok masyarakat yang paling rentan, seperti petani kecil dan keluarga yang bergantung pada pertanian subsisten. IFAD menyediakan pembiayaan untuk adopsi teknologi pertanian berkelanjutan, seperti teknik pertanian cerdas iklim yang dapat membantu petani menghadapi tantangan perubahan iklim. Selain itu, IFAD juga mendukung penguatan

kapasitas lokal dalam pengelolaan sumber daya alam, serta meningkatkan akses petani kecil terhadap pasar dan pembiayaan.

c. *Private Sector Engagement*

Kemitraan dengan sektor swasta menjadi elemen kunci dalam mendorong investasi dalam riset pertanian dan inovasi teknologi berkelanjutan. Sektor swasta, termasuk perusahaan teknologi, bank, dan industri terkait pertanian, memiliki sumber daya dan kemampuan untuk mendanai dan mengembangkan teknologi baru yang dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pertanian. Investasi dari sektor swasta sering kali terfokus pada pengembangan teknologi yang lebih efisien, seperti sistem irigasi pintar, bioteknologi tanaman, dan alat pertanian berbasis AI, yang tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Sektor swasta dapat membantu mempercepat komersialisasi teknologi pertanian yang ramah lingkungan melalui model kemitraan publik-swasta (PPP). Dalam kemitraan ini, pemerintah dan perusahaan swasta bekerja sama untuk membiayai dan mengimplementasikan proyek-proyek yang mendukung pertanian berkelanjutan. Perusahaan swasta dapat memberikan dukungan teknis, sementara pemerintah menyediakan kerangka regulasi dan insentif yang dapat meningkatkan daya tarik investasi. Dengan kolaborasi ini, inovasi pertanian dapat lebih cepat diterapkan di lapangan, menguntungkan petani, dan mendukung ketahanan pangan global.

4. Penyusunan Kebijakan Bersama

Kerjasama internasional dalam penyusunan kebijakan pertanian berkelanjutan sangat penting untuk menciptakan kerangka kerja yang memungkinkan negara-negara saling mendukung dalam praktik pertanian yang ramah lingkungan. Pembentukan kebijakan yang seragam di tingkat global dan regional dapat memastikan bahwa prinsip-prinsip keberlanjutan diterapkan secara luas, mengurangi ketidakseimbangan yang muncul dari kebijakan nasional yang tidak konsisten. Misalnya, melalui kesepakatan internasional mengenai pengurangan emisi metana dari sektor peternakan, negara-negara dapat bekerja sama untuk mengurangi dampak negatif terhadap iklim, sambil meningkatkan efisiensi dalam produksi pangan global. Kebijakan

bersama seperti ini membantu menciptakan standar internasional yang mendorong adopsi teknologi ramah lingkungan dan praktik pertanian yang mengurangi emisi gas rumah kaca.

Kerjasama kebijakan ini juga memberikan peluang bagi negara-negara berkembang untuk terlibat dalam pasar global yang lebih adil dan transparan, khususnya untuk produk pertanian berkelanjutan. Inisiatif seperti Fair Trade dan standar GlobalGAP menyediakan platform bagi petani dari negara berkembang untuk memasarkan produknya di pasar internasional. Dengan memenuhi standar keberlanjutan yang diakui secara global, produk pertanian yang berasal dari praktik pertanian ramah lingkungan dapat memperoleh akses lebih luas ke konsumen yang semakin sadar akan isu-isu lingkungan dan sosial. Kebijakan ini memberi petani kesempatan untuk meningkatkan pendapatannya, sambil mendukung keberlanjutan jangka panjang.

E. Pengaruh Perubahan Kebijakan terhadap Petani

Kebijakan yang diterapkan oleh pemerintah memiliki dampak yang besar terhadap petani, baik di tingkat lokal, nasional, maupun global. Kebijakan ini bisa berfokus pada berbagai aspek pertanian, seperti subsidi, regulasi lingkungan, kebijakan harga, hingga kebijakan perdagangan internasional. Pengaruh perubahan kebijakan terhadap petani sangat beragam, tergantung pada tujuan kebijakan tersebut, implementasinya, dan konteks sosial-ekonomi di wilayah tersebut.

1. Pengaruh Perubahan Kebijakan terhadap Kesejahteraan Petani

Kebijakan yang diterapkan oleh pemerintah dapat memiliki dampak langsung dan tidak langsung terhadap kesejahteraan petani. Beberapa pengaruh perubahan kebijakan antara lain:

a. Pengaruh terhadap Pendapatan Petani

Kebijakan yang memberikan subsidi harga atau pembiayaan pertanian memiliki pengaruh signifikan terhadap pendapatan petani, terutama di negara berkembang yang seringkali menghadapi tantangan dalam hal biaya produksi. Subsidi untuk benih, pupuk, dan sarana produksi lainnya dapat mengurangi beban biaya petani dan meningkatkan produktivitas. Dengan menurunnya biaya produksi, petani dapat memaksimalkan hasil

pertanian, yang pada gilirannya meningkatkan pendapatan. Program subsidi ini juga memberikan stabilitas ekonomi bagi petani, terutama pada musim tanam yang penuh risiko, seperti ketidakpastian cuaca atau fluktuasi harga pasar yang dapat mempengaruhi hasil.

Perubahan kebijakan yang mengurangi atau menghapuskan subsidi dapat memberikan dampak negatif yang besar bagi petani. Tanpa subsidi, biaya produksi menjadi lebih tinggi, dan petani mungkin tidak dapat mengakses sarana produksi yang diperlukan untuk meningkatkan hasil pertanian. Akibatnya, pendapatannya bisa turun, terutama bagi petani kecil yang memiliki sumber daya terbatas. Selain itu, harga produk pertanian yang tidak stabil dan meningkatnya biaya input sering kali menurunkan daya saing petani di pasar, yang mengarah pada penurunan pendapatannya.

b. Pengaruh terhadap Akses ke Teknologi dan Pengetahuan

Kebijakan yang mendorong adopsi teknologi baru memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian, yang pada gilirannya dapat memperbaiki kesejahteraan petani. Teknologi pertanian berkelanjutan, seperti varietas tanaman yang tahan terhadap kekeringan atau penyakit, dapat membantu petani mengurangi kerugian akibat perubahan iklim dan meningkatkan hasil panen. Kebijakan yang mendukung riset dan pengembangan (R&D) di sektor pertanian memungkinkan terciptanya inovasi yang disesuaikan dengan kebutuhan lokal, seperti teknologi irigasi hemat air atau teknik pengelolaan tanah yang ramah lingkungan. Dengan demikian, petani yang mengadopsi teknologi tersebut dapat meningkatkan produktivitas secara signifikan.

Meskipun teknologi baru dapat memberikan keuntungan besar, kebijakan yang tidak diimbangi dengan program pelatihan dan pendampingan yang memadai akan menghadirkan tantangan. Petani, terutama petani kecil dan keluarga, mungkin tidak memiliki pengetahuan atau keterampilan yang diperlukan untuk mengimplementasikan teknologi tersebut dengan efektif. Tanpa pemahaman yang cukup, teknologi yang tersedia bisa jadi tidak dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, kebijakan yang hanya menyediakan akses terhadap teknologi tanpa

memperhatikan aspek pendidikan dan pelatihan dapat memperburuk kesenjangan antara petani besar dan kecil dalam mengakses manfaat dari kemajuan teknologi.

2. Pengaruh Perubahan Kebijakan Terhadap Produksi dan Ketahanan Pangan

Kebijakan pertanian yang berkelanjutan juga memiliki dampak yang signifikan terhadap produksi pangan dan ketahanan pangan suatu negara. Kebijakan yang mengutamakan ketahanan pangan dapat memperbaiki akses petani ke pasar yang adil, mempercepat pengenalan varietas tanaman unggul, dan memperkenalkan sistem irigasi yang lebih efisien. Namun, jika kebijakan tersebut tidak memperhatikan kebutuhan dan keterbatasan lokal, hal ini bisa berakibat buruk bagi ketahanan pangan jangka panjang.

a. Subsidi dan Kebijakan Harga Pangan

Perubahan dalam kebijakan subsidi dan harga pangan memiliki dampak langsung terhadap produksi dan ketahanan pangan. Subsidi yang diberikan oleh pemerintah, seperti subsidi benih, pupuk, atau bahan bakar, bertujuan untuk menurunkan biaya produksi petani, meningkatkan hasil pertanian, dan menjaga harga pangan tetap stabil. Namun, perubahan kebijakan subsidi, terutama jika terjadi pemangkasan atau penghapusan subsidi, dapat menaikkan biaya produksi yang akan berdampak pada harga jual produk pertanian. Hal ini berpotensi mengurangi daya beli petani, terutama yang tergantung pada subsidi untuk menjaga keberlanjutan usaha tani. Dengan meningkatnya biaya, petani kecil dan petani yang lebih rentan dapat menghadapi kesulitan dalam mempertahankan produksi atau bahkan keberlanjutan usahanya.

Ketidakadilan dalam penyaluran subsidi atau kebijakan harga pangan yang tidak tepat sasaran dapat memperburuk ketidaksetaraan ekonomi antara petani besar dan petani kecil. Subsidi yang lebih banyak dinikmati oleh petani besar atau industri pertanian yang sudah mapan dapat meningkatkan ketimpangan pendapatan di kalangan petani. Sebaliknya, petani kecil atau yang berada di daerah terpencil mungkin tidak mendapatkan akses yang memadai terhadap subsidi yang dapat meringankan beban biaya produksinya. Hal ini dapat mengurangi

daya saing, bahkan berpotensi memperburuk kemiskinan dan ketergantungan pada harga pasar yang fluktuatif.

b. Kebijakan Penanganan Krisis Pangan

Kebijakan penanganan krisis pangan berperan penting dalam mengatasi dampak negatif dari peristiwa eksternal seperti perubahan iklim, bencana alam, atau gangguan dalam rantai pasokan pangan. Ketika produksi pangan terganggu, baik karena kekeringan, banjir, atau bencana alam lainnya, kebijakan yang cepat dan tepat dapat memastikan distribusi bantuan pangan kepada masyarakat yang terkena dampak. Misalnya, pemerintah dapat meluncurkan program bantuan langsung tunai atau mendistribusikan bibit pertanian yang tahan terhadap kondisi ekstrem. Kebijakan semacam ini membantu mengurangi beban petani yang mengalami kerugian dan mendukung pemulihan produksi secara cepat, serta menjaga kestabilan pasokan pangan dalam jangka panjang.

Jika kebijakan yang diterapkan tidak responsif atau terlambat dalam merespons krisis pangan, dampaknya dapat memperburuk ketahanan pangan bagi petani dan masyarakat secara umum. Ketika bantuan tidak segera sampai atau distribusi pangan terhambat oleh birokrasi, petani yang terdampak krisis akan semakin kesulitan untuk melanjutkan aktivitas pertanian. Dalam jangka panjang, ketidakmampuan pemerintah untuk memberikan dukungan yang cepat dan efektif dapat menyebabkan penurunan kualitas hidup petani, meningkatnya angka kemiskinan, dan ketergantungan pada impor pangan yang lebih mahal.

3. Perubahan Kebijakan dalam Konteks Perubahan Iklim

Kebijakan yang mendukung mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim juga sangat berpengaruh terhadap petani. Petani yang mengandalkan pertanian tradisional dengan sedikit teknologi sangat rentan terhadap perubahan iklim. Kebijakan yang mengurangi emisi gas rumah kaca atau yang mendukung adaptasi pertanian terhadap perubahan iklim dapat memberi petani lebih banyak sumber daya dan pengetahuan untuk menghadapi tantangan ini.

a. Kebijakan Adaptasi Perubahan Iklim

Kebijakan adaptasi perubahan iklim merupakan bagian integral dari upaya global untuk meningkatkan ketahanan sektor

pertanian terhadap dampak perubahan iklim. Beberapa negara telah meluncurkan program yang mendukung petani untuk beradaptasi dengan kondisi iklim yang semakin ekstrem, seperti kekeringan, banjir, dan perubahan pola hujan. Program-program tersebut sering melibatkan penyuluhan pertanian yang memberikan pengetahuan kepada petani mengenai teknik-teknik bertani yang lebih ramah lingkungan, seperti penggunaan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi iklim yang berubah. Selain itu, asuransi pertanian juga diperkenalkan untuk memberikan perlindungan finansial kepada petani yang menghadapi kerugian akibat bencana alam, membantunya untuk bangkit kembali setelah kerugian.

Keberhasilan kebijakan adaptasi ini seringkali terganjal oleh kurangnya pembiayaan yang cukup. Tanpa dukungan finansial yang memadai, program-program ini tidak dapat diimplementasikan dengan efektif. Misalnya, penyuluhan pertanian dan pelatihan teknologi ramah lingkungan memerlukan biaya yang besar, baik untuk pengembangan materi edukasi maupun untuk melibatkan tenaga ahli yang dapat menyampaikan informasi yang relevan kepada petani. Selain itu, penyediaan asuransi pertanian memerlukan dana yang tidak sedikit untuk memastikan perlindungan yang komprehensif bagi petani dari berbagai risiko iklim.

b. Subsidi untuk Teknologi Hijau

Kebijakan yang mendukung penggunaan teknologi hijau sangat penting dalam mendorong keberlanjutan pertanian, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim. Subsidi untuk teknologi hijau, seperti penerapan sistem irigasi hemat air, penggunaan energi terbarukan, atau alat pertanian yang lebih efisien, dapat memberikan insentif bagi petani untuk mengadopsi teknologi yang ramah lingkungan. Misalnya, teknologi irigasi tetes yang lebih efisien memungkinkan petani untuk menghemat air, yang sangat penting di daerah yang rawan kekeringan. Selain itu, penggunaan energi terbarukan, seperti panel surya untuk pompa air atau pemanasan rumah kaca, dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi jejak karbon sektor pertanian.

Perubahan kebijakan yang mendukung teknologi hijau tidak selalu membawa dampak positif bagi semua petani, terutama yang berada di wilayah pedesaan dengan keterbatasan akses terhadap teknologi dan pembiayaan. Petani kecil sering kali menghadapi hambatan dalam memperoleh teknologi baru karena biaya awal yang tinggi, meskipun mendapat subsidi. Selain itu, jika kebijakan tersebut tidak diimbangi dengan pelatihan dan pendampingan, adopsi teknologi hijau bisa terbatas. Tanpa pemahaman yang memadai, petani mungkin tidak dapat mengoptimalkan penggunaan teknologi tersebut, sehingga dampak positifnya terhadap keberlanjutan pertanian menjadi terbatas.

BAB VIII

EKONOMI PERTANIAN BERKELANJUTAN

Ekonomi pertanian berkelanjutan berfokus pada pendekatan yang tidak hanya memperhatikan keberlanjutan lingkungan dan sosial, tetapi juga pada pencapaian keberhasilan ekonomi dalam jangka panjang. Dalam konteks ini, pertanian berkelanjutan harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti efisiensi sumber daya, pengelolaan risiko, dan ketahanan terhadap perubahan iklim. Keberhasilan ekonomi dalam pertanian berkelanjutan bergantung pada penerapan praktik yang dapat meningkatkan produktivitas tanpa merusak kualitas tanah, air, dan keanekaragaman hayati.

A. Model Ekonomi Pertanian Berkelanjutan

Ekonomi pertanian berkelanjutan adalah konsep yang mengintegrasikan prinsip keberlanjutan sosial, ekonomi, dan lingkungan dalam sektor pertanian. Dalam model ini, tujuan utama adalah memastikan bahwa produksi pangan tidak hanya memenuhi kebutuhan saat ini, tetapi juga dapat memenuhi kebutuhan masa depan tanpa merusak sumber daya alam atau menyebabkan kerusakan ekosistem. Model ekonomi ini berusaha untuk mengurangi ketergantungan pada praktik yang merusak lingkungan, meningkatkan kesejahteraan petani, dan mendukung ketahanan pangan jangka panjang. Ada berbagai model yang digunakan dalam penerapan ekonomi pertanian berkelanjutan, yang berfokus pada sistem pertanian yang mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam sambil memastikan kelangsungan hidup petani dan masyarakat. Berikut adalah beberapa model yang telah terbukti relevan dalam ekonomi pertanian berkelanjutan.

1. Model Pertanian Berkelanjutan yang Berbasis Ekosistem

Model pertanian berkelanjutan berbasis ekosistem mengutamakan prinsip keharmonisan antara aktivitas pertanian dan keseimbangan alam. Dalam model ini, pertanian tidak hanya berfokus pada hasil produksi, tetapi juga mempertimbangkan dampak jangka panjang terhadap lingkungan. Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga atau bahkan meningkatkan kapasitas tanah dan kualitas air, yang keduanya merupakan sumber daya vital dalam pertanian. Dengan mengintegrasikan sistem produksi tanaman, ternak, dan keanekaragaman hayati dalam satu kesatuan yang harmonis, model ini menciptakan ekosistem yang saling mendukung dan memperkuat (Gliessman, 2021).

Salah satu prinsip utama dalam model pertanian berbasis ekosistem adalah pengurangan penggunaan bahan kimia sintetis, seperti pestisida dan pupuk kimia, yang dapat merusak tanah dan mencemari sumber daya air. Sebagai gantinya, pertanian berkelanjutan ini mendorong penggunaan metode alami, seperti rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan pengendalian hama secara alami. Dengan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia, petani dapat meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan sambil menjaga kesehatan tanah dan ekosistem sekitar.

2. Model Pertanian Organik

Model pertanian organik berfokus pada prinsip keberlanjutan dengan mengutamakan penggunaan bahan alami dalam setiap tahapan produksi pertanian. Dalam praktiknya, pertanian organik menghindari penggunaan pestisida kimia dan pupuk sintetis, yang sering kali dapat mencemari tanah, air, dan lingkungan sekitar. Sebagai gantinya, petani organik memanfaatkan pupuk organik seperti kompos dan vermikompos, serta teknik pengendalian hama secara alami, seperti rotasi tanaman, penggunaan predator alami, dan penanaman tanaman penghalang. Pendekatan ini tidak hanya menjaga kesuburan tanah, tetapi juga meningkatkan biodiversitas di dalamnya, mendukung ekosistem yang lebih sehat dan stabil.

Meskipun pertanian organik sering dianggap lebih mahal dan memerlukan tenaga kerja yang lebih intensif, keuntungan jangka panjangnya cukup signifikan. Penggunaan bahan alami dan metode yang ramah lingkungan dapat mengurangi ketergantungan pada input

eksternal yang mahal, seperti pestisida dan pupuk kimia. Selain itu, pertanian organik mendorong pengelolaan sumber daya alam secara lebih efisien, yang berpotensi meningkatkan ketahanan sistem pertanian terhadap perubahan iklim dan degradasi lingkungan. Tanah yang dikelola secara organik cenderung memiliki struktur yang lebih baik, kemampuan menyimpan air yang lebih tinggi, serta lebih tahan terhadap erosi.

3. Agroforestry

Agroforestry adalah suatu pendekatan yang menggabungkan kegiatan pertanian dan peternakan dengan penanaman pohon dalam satu sistem yang terpadu. Sistem ini tidak hanya berfokus pada produksi tanaman atau ternak, tetapi juga pada pengelolaan pohon yang memberikan manfaat jangka panjang bagi ekosistem dan ekonomi petani. Dengan mengintegrasikan pohon ke dalam sistem pertanian, agroforestry dapat mengurangi erosi tanah, meningkatkan kesuburan tanah, serta memperbaiki siklus air. Pohon-pohon ini berfungsi sebagai penahan angin, pengatur kelembapan, dan penyerap karbon, yang membantu mitigasi perubahan iklim.

Salah satu keuntungan utama dari agroforestry adalah peningkatan keanekaragaman hayati. Tanaman dan pohon yang berbeda-beda memberikan habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna, yang mendukung keseimbangan ekosistem. Ini mengurangi kerentanan terhadap hama dan penyakit, karena keberagaman spesies dapat mengganggu siklus hidup hama tertentu. Selain itu, penggunaan pohon-pohon yang memiliki sistem akar yang dalam dapat meningkatkan daya serap tanah terhadap air hujan, mencegah erosi dan memperbaiki struktur tanah yang lebih subur untuk tanaman pertanian.

4. Pertanian Konservasi

Pertanian konservasi adalah pendekatan yang bertujuan untuk menjaga dan meningkatkan produktivitas pertanian sambil melindungi dan mempertahankan sumber daya alam, khususnya tanah dan air. Salah satu prinsip utamanya adalah pengolahan tanah minimal. Dengan mengurangi frekuensi dan intensitas pengolahan tanah, sistem ini mengurangi kerusakan fisik pada tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan air. Pengolahan tanah yang minimal juga membantu mengurangi emisi karbon dari

proses pengolahan tanah, yang merupakan kontribusi besar terhadap perubahan iklim.

Rotasi tanaman juga merupakan prinsip penting dalam pertanian konservasi. Rotasi tanaman tidak hanya membantu dalam mengelola hama dan penyakit, tetapi juga berperan dalam menjaga keseimbangan unsur hara dalam tanah. Dengan menanam berbagai jenis tanaman yang berbeda di setiap musim, petani dapat mengurangi ketergantungan pada satu jenis tanaman yang rentan terhadap serangan hama atau penyakit. Rotasi tanaman juga dapat mengurangi kebutuhan akan pestisida dan pupuk kimia, yang berdampak positif bagi keberlanjutan ekosistem.

B. Pembangunan Ekonomi Lokal dan Kesejahteraan Petani

Pembangunan ekonomi lokal yang berkelanjutan adalah aspek penting dalam mencapai kesejahteraan petani. Dalam konteks pertanian berkelanjutan, pembangunan ekonomi lokal berfokus pada peningkatan kesejahteraan sosial dan ekonomi petani melalui penggunaan sumber daya alam secara efisien, penerapan teknologi yang ramah lingkungan, serta pemberdayaan petani kecil. Pembangunan ekonomi lokal dapat didefinisikan sebagai proses pemberdayaan masyarakat setempat untuk mengelola sumber daya secara optimal dan menciptakan lapangan kerja, meningkatkan pendapatan, serta memperbaiki infrastruktur di daerah tersebut. Dalam konteks pertanian, pembangunan ekonomi lokal melibatkan pengembangan sektor pertanian yang tidak hanya menghasilkan keuntungan finansial bagi petani, tetapi juga memberikan manfaat sosial dan lingkungan bagi komunitas sekitar. Pembangunan ekonomi lokal bertujuan untuk mengurangi ketimpangan sosial, menciptakan kesempatan kerja, dan memperbaiki kualitas hidup secara keseluruhan.

1. Pentingnya Pemberdayaan Petani dalam Pembangunan Ekonomi Lokal

Pemberdayaan petani adalah kunci untuk mendorong pembangunan ekonomi lokal yang berkelanjutan. Petani kecil, yang merupakan mayoritas populasi petani di banyak negara berkembang, sering kali menghadapi keterbatasan dalam hal akses ke sumber daya, pasar, dan teknologi. Oleh karena itu, pemberdayaan petani kecil

menjadi prioritas untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan kesejahteraan.

a. Akses ke Teknologi dan Pengetahuan

Akses yang memadai terhadap teknologi dan pengetahuan merupakan salah satu faktor kunci dalam pemberdayaan petani dan pengembangan ekonomi lokal. Teknologi pertanian yang tepat guna, seperti sistem irigasi hemat air atau penggunaan varietas tanaman unggul, dapat meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas. Dengan teknologi yang tepat, petani dapat memaksimalkan hasil pertanian meskipun dengan input yang lebih sedikit, yang pada akhirnya dapat meningkatkan pendapatannya. Ini juga memungkinkan petani untuk mengurangi kerugian yang disebabkan oleh faktor eksternal seperti perubahan iklim atau serangan hama.

Pemberdayaan petani juga membutuhkan akses terhadap pelatihan yang relevan mengenai praktik pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Melalui pelatihan, petani akan memperoleh keterampilan yang diperlukan untuk mengelola lahan dengan cara yang lebih efisien dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Misalnya, penggunaan teknik pertanian organik yang menghindari pestisida kimia atau praktik pertanian konservasi dapat meningkatkan kesuburan tanah dan keberlanjutan pertanian dalam jangka panjang. Pelatihan semacam ini juga memungkinkan petani untuk beradaptasi dengan tren global, seperti peningkatan permintaan terhadap produk pertanian yang lebih sehat dan ramah lingkungan.

b. Akses ke Pasar

Akses ke pasar yang luas dan harga yang adil merupakan tantangan besar bagi petani kecil. Banyak petani kesulitan menjangkau pasar yang lebih besar karena terbatasnya infrastruktur transportasi, distribusi, dan sistem pasar yang terorganisir. Tanpa infrastruktur yang memadai, produk pertanian sering kali harus dijual di pasar lokal dengan harga yang rendah, sehingga petani kesulitan untuk memperoleh keuntungan yang layak. Oleh karena itu, pembangunan infrastruktur pasar yang lebih baik, seperti fasilitas penyimpanan yang memadai, jaringan distribusi yang efisien, dan akses

transportasi yang lancar, sangat penting untuk membuka akses pasar yang lebih luas bagi petani.

Mekanisme distribusi yang efisien juga menjadi kunci untuk menghubungkan petani dengan konsumen atau pasar yang lebih besar. Sistem distribusi yang buruk seringkali menyebabkan penurunan kualitas produk dan peningkatan biaya transaksi, yang pada akhirnya merugikan petani. Dengan adanya sistem distribusi yang lebih terstruktur dan transparan, petani dapat mengurangi biaya perantara dan memastikan produknya sampai ke pasar dengan harga yang lebih menguntungkan. Ini juga akan memungkinkan produk pertanian untuk mencapai konsumen dengan harga yang wajar, tanpa ada pemangkasan harga yang berlebihan oleh tengkulak.

2. Peran Infrastruktur dalam Pembangunan Ekonomi Lokal

Infrastruktur yang memadai berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan daya saing pertanian lokal. Jalan yang baik, fasilitas penyimpanan yang memadai, dan akses ke energi yang terjangkau adalah faktor yang memungkinkan petani untuk mengurangi kerugian pasca-panen dan meningkatkan kualitas produk.

a. Transportasi dan Akses ke Pasar

Infrastruktur transportasi yang baik berperan kunci dalam keberhasilan sektor pertanian, terutama dalam menghubungkan petani dengan pasar. Akses yang efisien ke jalan, pelabuhan, dan fasilitas transportasi lainnya memungkinkan hasil pertanian untuk sampai ke pasar dengan cepat dan dalam kondisi yang baik. Ketika petani memiliki akses langsung atau tidak terhalang oleh infrastruktur yang buruk, lebih mudah memasuki pasar yang lebih luas dan beragam. Hal ini meningkatkan daya saing produk pertanian karena distribusi yang lebih cepat dan efisien, serta mengurangi risiko kerugian akibat kerusakan produk selama pengiriman.

Transportasi yang efisien juga memengaruhi harga produk pertanian. Ketika biaya transportasi rendah, petani dapat menjual produknya dengan harga yang lebih kompetitif tanpa mengurangi margin keuntungan yang terlalu besar. Sebaliknya, jika infrastruktur transportasi buruk, biaya transportasi yang tinggi akan memaksa petani untuk menjual produk dengan harga lebih

rendah agar tetap bisa bersaing, atau bahkan merugi. Dengan akses transportasi yang lancar, petani dapat menghemat biaya produksi dan distribusi, yang pada gilirannya meningkatkan keuntungan.

b. Penyimpanan dan Pengolahan

Penyimpanan yang memadai merupakan salah satu aspek penting dalam mengurangi kerugian pasca-panen, yang sering kali menjadi masalah utama dalam sektor pertanian, terutama di daerah pedesaan. Tanpa fasilitas penyimpanan yang baik, hasil pertanian seperti buah, sayuran, atau biji-bijian rentan terhadap kerusakan akibat cuaca, serangga, atau pembusukan. Penyimpanan yang tepat dapat memperpanjang umur simpan produk pertanian dan menjaga kualitasnya, sehingga petani dapat menjual produknya dalam kondisi yang lebih baik dan dengan harga yang lebih tinggi. Hal ini juga memungkinkan petani untuk menjual produknya di luar musim panen, ketika harga cenderung lebih tinggi, yang pada gilirannya meningkatkan pendapatannya. Fasilitas penyimpanan yang baik juga mengurangi kebutuhan untuk menjual hasil pertanian secara terburu-buru, yang sering kali menyebabkan harga yang lebih rendah karena kelangkaan pasokan atau permintaan mendekati puncaknya. Dengan memiliki ruang penyimpanan yang tepat, petani dapat mengatur waktu penjualan sesuai dengan kondisi pasar. Ini memberikan petani kontrol lebih besar atas harga jual dan memungkinkan untuk mendapatkan harga yang lebih adil berdasarkan permintaan pasar yang lebih stabil.

C. Manajemen Keuangan dalam Pertanian Berkelanjutan

Manajemen keuangan merupakan salah satu komponen penting dalam mencapai pertanian berkelanjutan. Dalam konteks ini, pengelolaan keuangan yang baik tidak hanya memastikan kelangsungan hidup petani dan keberlanjutan usaha pertanian, tetapi juga berperan dalam pengelolaan sumber daya alam yang efisien dan ramah lingkungan. Di banyak negara, pertanian berkelanjutan menghadapi tantangan besar, mulai dari akses terbatas ke sumber daya finansial,

kesulitan dalam mendapatkan kredit, hingga ketidakpastian terkait perubahan iklim yang mempengaruhi hasil pertanian.

1. Sumber Pendanaan dalam Pertanian Berkelanjutan

Pengelolaan keuangan yang efektif dalam pertanian berkelanjutan membutuhkan akses ke sumber daya finansial yang memadai. Beberapa sumber pendanaan yang dapat digunakan untuk mendukung pertanian berkelanjutan antara lain:

a. Kredit dan Pembiayaan Mikro

Kredit mikro berperan penting dalam membantu petani kecil yang memiliki keterbatasan akses ke lembaga keuangan formal. Banyak petani, terutama di daerah pedesaan, tidak memiliki jaminan atau riwayat kredit yang dapat memenuhi persyaratan untuk mendapatkan pinjaman dari bank tradisional. Oleh karena itu, kredit mikro menjadi solusi yang memungkinkan mendapatkan modal untuk memenuhi kebutuhan pertanian. Melalui lembaga mikrofinansial atau koperasi petani, petani kecil dapat memperoleh dana yang lebih mudah diakses, dengan prosedur yang lebih sederhana dan tanpa persyaratan yang memberatkan.

Dengan adanya akses kredit mikro, petani dapat membeli berbagai input pertanian yang mendukung praktik pertanian berkelanjutan, seperti benih unggul yang dapat meningkatkan hasil panen, pupuk organik yang ramah lingkungan, serta alat-alat pertanian yang efisien dan hemat energi. Hal ini tidak hanya meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan ekosistem pertanian. Sebagai contoh, penggunaan pupuk organik menggantikan pupuk kimia yang berpotensi merusak tanah dan air, sementara benih unggul dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit dan perubahan iklim.

b. Subsidi Pemerintah

Subsidi pemerintah berperan krusial dalam mendukung pertanian berkelanjutan, terutama di negara berkembang. Salah satu bentuk subsidi yang umum adalah subsidi untuk pupuk organik. Pupuk organik lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pupuk kimia sintetis, yang dapat merusak kualitas tanah dan air dalam jangka panjang. Dengan subsidi pemerintah, petani kecil yang

mungkin tidak mampu membeli pupuk organik dengan harga pasar dapat memperoleh input ini dengan biaya yang lebih terjangkau. Hal ini memungkinkan untuk beralih dari praktik pertanian yang berpotensi merusak ekosistem menuju sistem yang lebih berkelanjutan.

Pemerintah juga memberikan bantuan dalam bentuk program yang mendukung pengelolaan sumber daya alam, seperti konservasi tanah dan air. Program ini sangat penting, terutama di daerah yang rawan terhadap erosi atau kekeringan. Subsidi untuk sistem irigasi hemat air atau teknologi pertanian lainnya yang mengurangi pemborosan sumber daya alam dapat membantu petani mengelola tanah dengan cara yang lebih efisien dan berkelanjutan. Melalui kebijakan ini, pemerintah memberikan insentif bagi petani untuk berinvestasi dalam teknologi yang tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga menjaga kelestarian lingkungan.

c. Investasi Swasta dan Kemitraan Publik-Swasta

Investasi swasta merupakan salah satu sumber pendanaan penting yang dapat mendorong pertumbuhan sektor pertanian berkelanjutan. Perusahaan-perusahaan yang bergerak di sektor agribisnis, seperti produsen benih, penyedia pupuk organik, dan teknologi pertanian, memiliki peran besar dalam menyediakan modal dan sumber daya yang diperlukan untuk mengadopsi praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan. Investasi swasta tidak hanya mencakup dana, tetapi juga teknologi, penelitian, dan akses pasar yang dapat mempercepat adopsi pertanian berkelanjutan di kalangan petani. Dengan adanya investasi ini, petani dapat mengakses input pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan.

Kemitraan publik-swasta (*public-private partnerships* atau PPP) juga menawarkan solusi pendanaan yang lebih terjangkau dan fleksibel untuk petani. Pemerintah dapat bermitra dengan perusahaan swasta untuk menciptakan program-program pendanaan yang memungkinkan petani kecil mengakses teknologi dan pelatihan yang diperlukan untuk menerapkan praktik pertanian berkelanjutan. Dalam kerangka PPP, risiko investasi dibagi antara sektor publik dan swasta, yang membuat

investasi dalam pertanian berkelanjutan menjadi lebih menarik dan kurang berisiko bagi kedua belah pihak. Misalnya, perusahaan swasta dapat menyediakan teknologi pertanian canggih, sementara pemerintah dapat memberikan subsidi atau insentif pajak untuk mendukung adopsi teknologi tersebut di kalangan petani kecil.

2. Manajemen Biaya dalam Pertanian Berkelanjutan

Pengelolaan biaya adalah salah satu aspek penting dalam memastikan keberlanjutan ekonomi dalam pertanian. Untuk itu, petani perlu mengelola biaya dengan hati-hati agar tetap memperoleh keuntungan meskipun berinvestasi dalam praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan.

a. Biaya Investasi Awal dalam Teknologi Berkelanjutan

Investasi awal dalam teknologi pertanian berkelanjutan sering kali menjadi tantangan besar bagi petani, terutama yang memiliki sumber daya terbatas. Teknologi seperti sistem irigasi hemat air, yang menggunakan teknologi tetes atau sistem irigasi pintar, memerlukan biaya awal yang signifikan untuk instalasi dan perawatan. Begitu pula dengan sistem pertanian berbasis ekosistem, yang mengintegrasikan berbagai elemen alam untuk menciptakan sistem yang lebih harmonis dan tahan terhadap gangguan. Selain itu, teknologi pengolahan hasil pertanian yang efisien, seperti mesin pemroses yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan, memerlukan investasi awal dalam peralatan dan pelatihan. Namun, meskipun biaya awal ini tinggi, teknologi-teknologi tersebut memiliki potensi untuk mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang.

Salah satu manfaat utama dari teknologi berkelanjutan adalah pengurangan biaya produksi jangka panjang. Sebagai contoh, sistem irigasi hemat air dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya air yang semakin terbatas, yang sangat penting di kawasan yang menghadapi krisis air. Dengan mengurangi pemborosan air, petani dapat menurunkan biaya operasional dan meningkatkan efisiensi penggunaan air untuk pertanian. Selain itu, teknologi ini juga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar untuk pompa air, yang dapat mengurangi biaya energi secara signifikan.

b. **Pengelolaan Biaya Operasional**

Pengelolaan biaya operasional merupakan salah satu aspek krusial dalam memastikan keberlanjutan ekonomi pertanian berkelanjutan. Biaya operasional yang tinggi, seperti biaya tenaga kerja, bahan bakar, dan pemeliharaan alat, dapat membebani petani, terutama yang memiliki sumber daya terbatas. Oleh karena itu, manajemen yang efisien terhadap komponen-komponen biaya ini menjadi penting agar petani dapat mempertahankan profitabilitasnya dan daya saing produk pertanian di pasar. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah penggunaan teknologi yang meminimalkan penggunaan tenaga kerja manual dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar.

Teknologi pertanian yang efisien, seperti mesin pertanian yang hemat energi atau alat irigasi otomatis, dapat mengurangi penggunaan bahan bakar dan mengoptimalkan konsumsi energi. Misalnya, penggunaan traktor modern yang lebih hemat bahan bakar atau sistem irigasi tetes yang lebih efisien dapat menurunkan biaya operasional secara signifikan. Selain itu, dengan memanfaatkan teknologi digital untuk memantau kondisi tanaman dan tanah, petani dapat mengurangi pemborosan sumber daya dan memperbaiki efisiensi dalam penggunaan air, pupuk, dan pestisida. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya langsung tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

D. Dampak Globalisasi terhadap Ekonomi Pertanian

Globalisasi merupakan fenomena yang memiliki dampak signifikan terhadap berbagai sektor, termasuk ekonomi pertanian. Dalam konteks pertanian berkelanjutan, globalisasi menawarkan peluang dan tantangan yang perlu dipahami dan dikelola dengan hati-hati. Dampak globalisasi terhadap ekonomi pertanian berkelanjutan mencakup aspek positif, seperti peningkatan akses pasar dan adopsi teknologi baru, serta tantangan yang meliputi ketidakstabilan harga pasar, pengaruh terhadap pola konsumsi, dan risiko eksploitasi sumber daya alam.

1. Peluang Globalisasi bagi Ekonomi Pertanian Berkelanjutan

Globalisasi memberikan berbagai peluang bagi sektor pertanian berkelanjutan, terutama dalam meningkatkan akses pasar, memperkenalkan inovasi teknologi, dan memperkuat jaringan perdagangan internasional. Beberapa peluang yang dapat dimanfaatkan adalah:

a. Akses Pasar Global

Globalisasi telah membawa dampak signifikan terhadap ekonomi pertanian, salah satunya adalah peningkatan akses petani terhadap pasar global. Liberalisasi perdagangan, yang meliputi pengurangan hambatan tarif dan pengaturan perdagangan bebas, telah membuka peluang baru bagi produk pertanian dari negara berkembang untuk memasuki pasar internasional. Sebelumnya, petani di negara berkembang seringkali menghadapi kesulitan dalam menembus pasar global karena adanya tarif impor yang tinggi, kebijakan proteksionisme, dan standar kualitas yang ketat. Namun, dengan adanya perjanjian perdagangan internasional dan kebijakan pasar bebas, akses ini semakin terbuka lebar.

Bagi petani, akses pasar global memberikan peluang untuk menjual produknya di luar negeri, yang tidak hanya memperluas jangkauan pasar tetapi juga meningkatkan pendapatannya. Hal ini terutama bermanfaat bagi petani yang menghasilkan produk unggulan, seperti kopi, kakao, rempah-rempah, atau hasil pertanian organik. Produk-produk ini seringkali memiliki permintaan tinggi di pasar internasional, terutama di negara maju yang mengutamakan kualitas dan keberlanjutan dalam produksi pangan. Dengan adanya akses ini, petani dapat memanfaatkan harga yang lebih kompetitif, yang pada gilirannya berpotensi meningkatkan profitabilitas.

b. Inovasi dan Teknologi

Globalisasi tidak hanya membawa dampak dalam hal akses pasar global, tetapi juga memfasilitasi transfer teknologi yang sangat penting untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Teknologi pertanian modern, yang sebelumnya hanya dapat diakses oleh petani di negara maju, kini semakin mudah diakses oleh petani di negara berkembang. Melalui berbagai kanal, termasuk kerjasama internasional, perusahaan teknologi global, dan lembaga riset, pengetahuan dan inovasi baru dalam pertanian dapat

diperkenalkan ke negara-negara berkembang. Teknologi-teknologi ini mencakup berbagai solusi, mulai dari sistem irigasi otomatis yang hemat air hingga penggunaan sensor untuk memantau kualitas tanah dan kelembaban.

Salah satu contoh teknologi yang sangat bermanfaat dalam konteks pertanian berkelanjutan adalah irigasi otomatis yang dapat menghemat air, yang menjadi sangat penting di wilayah yang rawan kekeringan. Teknologi ini memungkinkan petani untuk mengatur jumlah air yang digunakan secara lebih efisien, sehingga dapat mengurangi pemborosan sumber daya alam. Selain itu, teknologi sensor tanah yang dapat memberikan data real-time mengenai kondisi tanah dan tanaman memungkinkan petani untuk mengambil keputusan yang lebih baik terkait pemupukan, pengairan, dan pengendalian hama, yang pada gilirannya dapat meningkatkan hasil pertanian dan mengurangi penggunaan bahan kimia yang merusak lingkungan.

2. Globalisasi dan Pengaruhnya Terhadap Konsumsi dan Pola Diet

Globalisasi juga mempengaruhi pola konsumsi dan diet masyarakat, yang pada gilirannya memengaruhi pola permintaan terhadap produk pertanian. Perubahan dalam pola konsumsi, seperti peralihan ke makanan cepat saji dan produk pertanian yang diproses, dapat mempengaruhi petani yang berusaha mengadopsi praktik pertanian berkelanjutan.

a. Perubahan Pola Konsumsi

Globalisasi telah membawa perubahan signifikan dalam pola konsumsi pangan di banyak negara, terutama di negara-negara berkembang. Sebelumnya, pola makan tradisional yang berbasis pada konsumsi tanaman lokal dan produk pertanian alami mulai bergeser dengan meningkatnya permintaan terhadap produk makanan olahan, daging, dan produk berbasis hewan. Fenomena ini banyak dipengaruhi oleh masuknya merek makanan internasional dan gaya hidup konsumsi yang terpengaruh oleh media global. Dalam beberapa dekade terakhir, konsumsi daging, terutama daging sapi, ayam, dan produk olahan lainnya, mengalami lonjakan yang cukup tajam, seiring dengan perubahan preferensi konsumen yang lebih memilih produk cepat saji dan makanan yang siap saji.

Peningkatan permintaan terhadap produk berbasis hewan ini tidak hanya dipengaruhi oleh tren globalisasi, tetapi juga oleh pertumbuhan kelas menengah yang lebih besar di negara-negara berkembang, yang memiliki daya beli lebih tinggi. Konsumsi daging yang lebih tinggi biasanya berhubungan dengan pola makan yang lebih modern dan praktis, namun dampaknya terhadap lingkungan cukup signifikan. Produksi daging, terutama daging sapi, membutuhkan sumber daya yang sangat besar, termasuk lahan yang luas, pakan ternak, dan air. Ini berkontribusi pada deforestasi, degradasi lahan, dan peningkatan emisi gas rumah kaca, yang memperburuk jejak karbon pertanian.

b. Tren Konsumsi Produk Organik dan Berkelanjutan

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan dari pola konsumsi makanan konvensional, globalisasi juga telah memicu tren baru dalam dunia konsumsi pangan, yaitu meningkatnya permintaan terhadap produk organik dan berkelanjutan. Konsumen di berbagai belahan dunia semakin menyadari pentingnya keberlanjutan dalam produksi pangan, yang mendorongnya untuk beralih dari produk makanan yang dihasilkan secara konvensional, yang bergantung pada bahan kimia, ke produk yang lebih ramah lingkungan. Tren ini semakin kuat seiring dengan meningkatnya informasi yang mudah diakses tentang dampak pertanian industri terhadap kesehatan manusia dan planet.

Produk organik, yang diproduksi tanpa menggunakan pestisida dan pupuk sintetis, semakin diminati di pasar global, terutama di negara-negara maju. Konsumen mencari jaminan bahwa produk yang dikonsumsi berasal dari sumber yang berkelanjutan, yang tidak hanya memberikan manfaat bagi kesehatan, tetapi juga bagi lingkungan. Dalam hal ini, pertanian berkelanjutan, yang mencakup pengelolaan sumber daya alam secara bijaksana, pengurangan jejak karbon, serta perlindungan terhadap keanekaragaman hayati, semakin dianggap sebagai pilihan yang tepat. Hal ini memberikan dorongan positif bagi petani yang menerapkan praktik pertanian ramah lingkungan, karena mendapatkan keuntungan baik dari sisi harga maupun permintaan yang stabil.

E. Rantai Pasok dan Pasar Pertanian Berkelanjutan

Rantai pasok pertanian berkelanjutan adalah serangkaian proses yang dimulai dari produksi hingga distribusi produk pertanian ke konsumen akhir, dengan memperhatikan dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi. Dalam sistem rantai pasok ini, keberlanjutan bukan hanya terletak pada hasil akhir produk, tetapi juga pada bagaimana setiap tahapan produksi dan distribusi dijalankan. Prinsip keberlanjutan dalam rantai pasok mencakup penggunaan sumber daya alam secara efisien, pengelolaan limbah, perlindungan terhadap keanekaragaman hayati, serta peningkatan kesejahteraan petani dan pekerja dalam sistem tersebut.

1. Model Rantai Pasok Pertanian Berkelanjutan

Pada praktiknya, terdapat beberapa model rantai pasok yang dapat mendukung pertanian berkelanjutan. Beberapa model tersebut antara lain:

a. Rantai Pasok Terintegrasi Vertikal

Model rantai pasok terintegrasi vertikal adalah pendekatan yang menghubungkan produsen dengan konsumen secara langsung, tanpa melibatkan banyak perantara dalam proses distribusi. Dalam konteks pertanian berkelanjutan, model ini memungkinkan perusahaan atau petani untuk mengontrol kualitas dan standar keberlanjutan produk dari hulu hingga hilir. Dengan mengurangi perantara, biaya distribusi dapat ditekan, sementara transparansi dalam seluruh rantai pasok dapat ditingkatkan. Hal ini sangat penting untuk produk pertanian yang berkelanjutan, seperti pangan organik, di mana konsumen semakin menginginkan jaminan bahwa produk yang dibeli dihasilkan dengan cara yang ramah lingkungan dan etis.

Salah satu keuntungan utama dari model rantai pasok terintegrasi vertikal adalah kemampuan untuk mempertahankan kontrol yang lebih ketat terhadap standar kualitas. Petani atau perusahaan yang menerapkan model ini dapat memastikan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi standar keberlanjutan yang tinggi, dari pemilihan benih, penggunaan pupuk dan pestisida, hingga teknik pengolahan dan distribusi. Selain itu, dengan mengurangi jumlah perantara dalam rantai pasok, model ini memungkinkan petani

untuk memperoleh harga yang lebih adil, karena dapat menjual produknya langsung ke pasar atau konsumen akhir tanpa harus bergantung pada pedagang perantara yang seringkali mengambil margin keuntungan besar.

b. Rantai Pasok Berbasis Petani (*Farmer-based Supply Chain*)

Model rantai pasok berbasis petani (*farmer-based supply chain*) menekankan pada pemberdayaan petani dan kelompok petani untuk memiliki kontrol yang lebih besar atas keputusan dalam proses produksi dan distribusi. Dalam model ini, petani tidak hanya bertindak sebagai produsen, tetapi juga sebagai bagian integral dari rantai pasok yang mempengaruhi setiap tahapan, dari pemilihan bahan baku hingga pengiriman produk ke pasar. Dengan terlibat secara langsung, petani dapat mengelola hasil pertanian dengan lebih efektif dan memiliki suara dalam pengambilan keputusan terkait harga, kualitas, dan volume produksi.

Salah satu keuntungan utama dari model ini adalah peningkatan daya tawar petani. Biasanya, petani kecil terjebak dalam sistem rantai pasok yang tidak menguntungkan, di mana hanya menerima harga yang rendah untuk produknya karena perannya yang terbatas. Dalam rantai pasok berbasis petani, kelompok petani atau koperasi dapat bernegosiasi dengan pembeli atau distributor, memastikan harga yang lebih adil dan mengurangi ketergantungan pada perantara yang sering kali mengambil keuntungan besar.

c. Rantai Pasok Berkelanjutan Berbasis Sertifikasi

Rantai pasok berbasis sertifikasi berkelanjutan mengintegrasikan standar internasional yang diakui untuk memastikan bahwa produk pertanian yang sampai ke konsumen diproduksi dengan mematuhi prinsip-prinsip keberlanjutan. Sertifikasi seperti Fair Trade, GlobalGAP, dan Organic Certification memastikan bahwa setiap tahap dalam rantai pasok dari produksi hingga distribusi memenuhi standar sosial, lingkungan, dan ekonomi yang ketat. Sertifikasi ini tidak hanya memberikan jaminan kualitas kepada konsumen, tetapi juga meningkatkan transparansi dalam rantai pasok, memungkinkan konsumen untuk mengetahui dengan pasti bagaimana produk tersebut diproduksi dan diproses.

Sertifikasi seperti Fair Trade memastikan bahwa petani dan pekerja di seluruh dunia mendapatkan upah yang adil, kondisi kerja yang layak, dan akses ke pasar yang lebih luas. Dengan adanya sertifikasi ini, petani berhak atas harga yang lebih baik, sehingga meningkatkan kesejahteraan. Selain itu, sertifikasi ini juga mendukung pemberdayaan masyarakat petani, dengan menyediakan dana tambahan untuk pengembangan sosial dan ekonomi. Model ini mengurangi praktik eksploitatif dalam pertanian dan memastikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki dampak positif terhadap masyarakat lokal.

2. Pasar Pertanian Berkelanjutan: Global dan Lokal

a. Pasar Global

Pasar global memiliki pengaruh yang signifikan terhadap permintaan dan harga produk pertanian berkelanjutan, karena semakin banyak konsumen di seluruh dunia yang mengutamakan keberlanjutan dalam pilihan konsumsi. Negara-negara maju, khususnya, telah mengadopsi tren ini dengan memberikan prioritas terhadap produk yang dihasilkan dengan metode ramah lingkungan, serta memenuhi standar sosial dan etika yang tinggi. Permintaan global untuk produk organik, fair trade, dan pertanian berbasis sertifikasi telah mengalami peningkatan pesat, menciptakan peluang bagi negara-negara berkembang untuk memasuki pasar internasional.

Kebijakan perdagangan internasional yang mendukung pertanian berkelanjutan, seperti pengurangan tarif untuk produk yang disertifikasi atau subsidi untuk praktik ramah lingkungan, dapat memberikan insentif bagi negara berkembang untuk meningkatkan produksi pertanian yang memenuhi standar internasional. Hal ini mendorong petani di negara berkembang untuk mengadopsi metode pertanian yang lebih berkelanjutan, sekaligus membuka peluang untuk memperluas pasar ke negara-negara dengan permintaan tinggi terhadap produk pertanian berkelanjutan. Dengan begitu, pasar global dapat menjadi pendorong besar dalam mendorong transisi menuju pertanian yang lebih ramah lingkungan di tingkat global.

b. Pasar Lokal

Pasar lokal memiliki potensi yang besar dalam mendukung pertanian berkelanjutan, terutama di negara-negara berkembang. Konsumen di berbagai daerah semakin sadar akan pentingnya memilih produk yang tidak hanya sehat, tetapi juga diproduksi dengan cara yang ramah lingkungan. Produk lokal, yang dihasilkan dengan metode pertanian berkelanjutan, menjadi pilihan utama bagi konsumen yang ingin mendukung praktik pertanian yang etis dan berkelanjutan. Kesadaran ini memberikan peluang yang signifikan bagi petani untuk memasuki pasar lokal dan memperoleh harga yang lebih adil, dibandingkan dengan pasar yang lebih besar dan lebih kompetitif.

Di banyak negara berkembang, pasar lokal sering kali menjadi tempat pertama bagi petani untuk memasarkan produk, terutama produk organik atau yang menggunakan praktik pertanian ramah lingkungan. Dengan mengurangi ketergantungan pada rantai pasok global yang panjang dan penuh perantara, petani lokal dapat langsung menjual hasil pertanian kepada konsumen dengan harga yang lebih baik dan lebih transparan. Hal ini meningkatkan keuntungan bagi petani serta memperkuat ekonomi lokal.

BAB IX

SOSIAL DAN BUDAYA DALAM KEBERLANJUTAN PERTANIAN

Peran sosial dan budaya dalam keberlanjutan pertanian, yang sangat penting dalam mendukung sistem pertanian yang tidak hanya berfokus pada aspek ekonomi dan lingkungan, tetapi juga pada dimensi sosial dan budaya. Faktor sosial mempengaruhi bagaimana komunitas petani mengelola lahan, berbagi pengetahuan, dan berinteraksi dengan teknologi dan kebijakan pertanian. Misalnya, dalam beberapa masyarakat, tradisi pertanian turun-temurun berperan utama dalam keberlanjutan, memungkinkan masyarakat untuk mempertahankan praktik pertanian yang ramah lingkungan dan sesuai dengan budaya lokal.

A. Peran Komunitas Petani dalam Keberlanjutan

Komunitas petani berperan yang sangat penting dalam memastikan keberlanjutan pertanian. Tidak hanya terlibat dalam proses produksi, tetapi juga berperan dalam mempertahankan dan mengembangkan budaya pertanian, serta menjaga keseimbangan sosial dan ekonomi yang mendukung keberlanjutan jangka panjang.

1. Peran Sosial Komunitas Petani

Komunitas petani sering kali menjadi inti dari keberlanjutan sosial dalam pertanian, saling berbagi pengetahuan, tradisi, dan pengalaman untuk menghadapi tantangan yang muncul dalam kegiatan pertanian. Dalam banyak kasus, sistem sosial berbasis komunitas ini membantu memperkuat ketahanan pangan, memperbaiki akses ke pasar, dan memastikan bahwa keputusan pertanian didorong oleh kebutuhan dan aspirasi lokal.

- a. Kerjasama dan Keterlibatan dalam Pengambilan Keputusan

Kerjasama dan keterlibatan petani dalam pengambilan keputusan kolektif sangat penting untuk memperkuat rasa memiliki dan tanggung jawab bersama dalam komunitas pertanian. Dalam banyak kasus, petani bergabung dalam kelompok tani atau koperasi pertanian untuk mengelola sumber daya secara bersama-sama, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan daya tawar di pasar. Dalam kelompok ini, petani dapat berbagi pengetahuan, pengalaman, dan sumber daya yang dimiliki, sehingga keputusan yang diambil cenderung lebih menguntungkan dan dapat diterima oleh seluruh anggota komunitas. Selain itu, kelompok-kelompok ini memungkinkan petani untuk lebih mudah mengakses teknologi baru, pelatihan, dan pasar (Florini & Pauli, 2018).

Proses pengambilan keputusan kolektif dalam komunitas petani juga memberikan kesempatan bagi anggota untuk berpartisipasi secara aktif dalam perencanaan dan implementasi kebijakan pertanian. Forum diskusi atau rapat yang melibatkan petani memberikan ruang untuk menyuarakan pendapat dan kekhawatiran terkait isu-isu yang mempengaruhi kesejahteraan, seperti perubahan iklim, harga komoditas, atau kebijakan pemerintah. Keputusan yang dihasilkan dari proses partisipatif ini lebih memungkinkan untuk diterima dan diimplementasikan, karena didasarkan pada pemahaman bersama yang berkembang dari dialog terbuka.

b. Pembangunan Kapasitas dan Pendidikan

Pembangunan kapasitas dan pendidikan di komunitas petani berperan yang sangat penting dalam meningkatkan keberlanjutan pertanian. Salah satu aspek utama dari pembangunan kapasitas adalah memberikan pelatihan kepada petani mengenai teknik pertanian ramah lingkungan, seperti penggunaan pupuk organik, pengendalian hama alami, serta konservasi air dan tanah. Dengan pengetahuan yang lebih baik, petani dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia dan meningkatkan hasil pertaniannya secara berkelanjutan. Pelatihan ini sering kali dilakukan oleh kelompok tani, koperasi, atau lembaga pemerintah yang bekerja sama dengan ahli pertanian dan praktisi lokal.

Pendidikan dalam pengelolaan sumber daya alam yang bijaksana juga sangat penting. Komunitas petani yang memahami pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem akan lebih mampu mengelola tanah, air, dan keanekaragaman hayati secara berkelanjutan. Melalui pelatihan mengenai rotasi tanaman, pengelolaan sampah organik, dan pemanfaatan teknologi ramah lingkungan, petani dapat meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti erosi tanah atau polusi air. Pendekatan ini tidak hanya membantu meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi, tetapi juga berkontribusi pada konservasi sumber daya alam jangka panjang.

c. Peran dalam Meningkatkan Ketahanan Pangan

Komunitas petani memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan ketahanan pangan, khususnya melalui pengembangan sistem produksi pangan yang berkelanjutan. Sering kali mengutamakan keberagaman tanaman, yang tidak hanya meningkatkan ketahanan pangan tetapi juga menjaga keseimbangan ekosistem. Dengan mengadopsi pola pertanian yang beragam, petani mengurangi ketergantungan pada satu jenis tanaman, yang meningkatkan ketahanan terhadap gangguan eksternal seperti penyakit tanaman atau perubahan iklim. Selain itu, keberagaman ini juga dapat memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan keanekaragaman hayati, menciptakan sistem pertanian yang lebih resilien dan berkelanjutan.

Banyak komunitas petani juga mengintegrasikan teknik pertanian ramah lingkungan, seperti penggunaan pupuk organik, pengelolaan sumber daya alam yang bijaksana, dan pengendalian hama secara alami. Dengan mengurangi ketergantungan pada input luar, seperti pestisida kimia atau pupuk sintetis, dapat menghasilkan pangan yang lebih sehat dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Teknik-teknik ini tidak hanya mengurangi kerusakan lingkungan tetapi juga meningkatkan keberlanjutan jangka panjang dari sistem pertanian lokal.

2. Peran Budaya Komunitas Petani dalam Keberlanjutan

Budaya pertanian yang dijalankan oleh komunitas petani juga sangat penting dalam memastikan keberlanjutan pertanian. Budaya ini melibatkan nilai-nilai dan tradisi yang diwariskan turun-temurun, yang

menjadi landasan dalam pengelolaan tanah, air, dan sumber daya alam lainnya.

a. Pertanian Tradisional dan Keberlanjutan

Pertanian tradisional yang dipraktikkan oleh komunitas petani sering kali berfokus pada keberlanjutan jangka panjang, yang diwariskan dari generasi ke generasi. Salah satu contoh yang paling jelas adalah sistem tumpang sari, di mana berbagai jenis tanaman ditanam bersama dalam satu lahan untuk memaksimalkan penggunaan sumber daya alam seperti air dan sinar matahari. Selain itu, tumpang sari juga membantu mengurangi kerusakan tanah karena tanaman yang berbeda memiliki kebutuhan nutrisi yang bervariasi, sehingga tanah tetap subur. Metode ini juga memperkaya biodiversitas, yang sangat penting untuk kesehatan ekosistem pertanian.

Rotasi tanaman adalah teknik lain yang digunakan dalam pertanian tradisional untuk menjaga keseimbangan tanah. Dengan mengganti jenis tanaman yang ditanam di tanah yang sama setiap musim, komunitas petani dapat menghindari penurunan kesuburan tanah dan mengurangi kerentanan terhadap hama dan penyakit. Selain itu, rotasi tanaman membantu mengoptimalkan penggunaan nutrisi tanah karena berbagai tanaman memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda. Hal ini membuat tanah lebih sehat dan produktif dalam jangka panjang, tanpa perlu mengandalkan pupuk kimia yang dapat merusak ekosistem.

b. Pemeliharaan Keanekaragaman Hayati

petani memiliki peran penting dalam pemeliharaan keanekaragaman hayati, terutama melalui praktik pertanian yang mempertimbangkan keberagaman tanaman dan hewan. Salah satu contoh paling signifikan adalah agroforestry, yang mengintegrasikan tanaman pertanian dengan pohon-pohon kehutanan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan produktivitas tanah tetapi juga menciptakan habitat bagi berbagai spesies tanaman dan hewan, sehingga membantu menjaga keseimbangan ekosistem. Agroforestry mengurangi kerusakan tanah dan mengoptimalkan penggunaan lahan dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi, memperbaiki kualitas air, dan

mengurangi erosi, yang pada gilirannya mendukung keberlanjutan pertanian dalam jangka panjang (Altieri, 2018). Keberagaman tanaman yang ditanam di lahan pertanian tradisional membantu menjaga ketahanan ekosistem terhadap hama dan penyakit. Dengan menanam berbagai jenis tanaman, petani mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang dapat merusak keanekaragaman hayati. Tanaman yang berbeda berfungsi sebagai pelindung satu sama lain, baik dengan cara menghambat pertumbuhan hama atau menciptakan lingkungan yang lebih sehat bagi organisme lain. Keberagaman ini juga mendorong interaksi simbiotik antara tanaman dan hewan, seperti penyerbukan oleh serangga, yang penting untuk kesehatan ekosistem pertanian.

c. Nilai-Nilai Budaya dalam Pengelolaan Sumber Daya Alam

Nilai-nilai budaya yang hidup dalam komunitas petani berperan penting dalam pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan. Di banyak masyarakat tradisional, terdapat pandangan yang sangat menghormati hubungan antara manusia, tanah, dan alam. Petani tidak hanya melihat tanah sebagai sumber daya ekonomi, tetapi juga sebagai entitas yang memiliki makna spiritual dan kultural. Misalnya, dalam beberapa kebudayaan, tanah dianggap sebagai warisan leluhur yang harus dijaga dan dikelola dengan bijaksana. Nilai-nilai ini mengarahkan petani untuk mempertahankan praktik pertanian yang tidak hanya berorientasi pada hasil produksi, tetapi juga pada kelestarian alam (Gliessman, 2021).

Pada pengelolaan sumber daya alam, nilai-nilai budaya ini mempengaruhi cara petani merawat tanah dan mengelola air serta keanekaragaman hayati. Di beberapa daerah, penggunaan sistem pertanian yang ramah lingkungan, seperti rotasi tanaman dan penggunaan pupuk organik, bukan hanya didorong oleh kebutuhan ekonomi, tetapi juga oleh nilai moral yang menekankan keseimbangan alam. Dalam pandangan ini, tanah bukanlah milik pribadi yang bisa dimanfaatkan secara sewenang-wenang, melainkan bagian dari ekosistem yang harus dijaga agar bisa diwariskan kepada generasi mendatang.

3. Komunitas Petani dan Ekonomi Pertanian Berkelanjutan

Komunitas petani juga mempengaruhi ekonomi pertanian berkelanjutan dengan menciptakan sistem ekonomi yang lebih inklusif dan adil. Dalam konteks ini, komunitas petani berperan dalam menciptakan peluang ekonomi yang lebih baik bagi anggota serta untuk masyarakat yang lebih luas.

a. Koperasi Petani dan Akses ke Pasar

Koperasi petani berperan penting dalam meningkatkan ekonomi pertanian berkelanjutan dengan memberikan petani akses yang lebih baik ke pasar dan sumber daya. Dengan bergabung dalam koperasi, petani dapat memanfaatkan kekuatan kolektif untuk membeli input pertanian dengan harga yang lebih terjangkau, seperti benih berkualitas dan pupuk ramah lingkungan. Selain itu, koperasi memungkinkannya untuk berbagi alat pertanian atau teknologi baru yang dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam bertani. Kolaborasi dalam koperasi juga membantu petani untuk mengurangi biaya operasional yang terkait dengan kegiatan pertanian.

Salah satu manfaat utama dari koperasi adalah meningkatkan akses petani ke pasar yang lebih luas dan lebih menguntungkan. Petani kecil sering kali menghadapi kesulitan dalam menjual produk karena ketergantungan pada tengkulak yang menawarkan harga rendah. Melalui koperasi, petani dapat mengakses pasar yang lebih luas dan menjual produk langsung ke konsumen atau perusahaan besar, tanpa perantara yang membebaninya dengan margin yang tinggi. Dengan ini, petani dapat memperoleh harga yang lebih adil dan meningkatkan pendapatan.

b. Diversifikasi Pendapatan Petani

Diversifikasi pendapatan merupakan strategi penting dalam mengurangi ketergantungan petani pada satu jenis produk pertanian dan meningkatkan ketahanan ekonomi. Salah satu bentuk diversifikasi yang umum dilakukan oleh petani adalah dengan mengintegrasikan produk pertanian dengan produk non-pertanian. Misalnya, petani dapat memproduksi kerajinan tangan dari bahan-bahan lokal, atau mengolah hasil pertanian menjadi produk olahan makanan, seperti selai atau keripik. Pendekatan ini tidak hanya membuka sumber pendapatan baru, tetapi juga

menciptakan nilai tambah yang dapat meningkatkan daya saing produknya di pasar.

Sektor pariwisata berbasis pertanian (*agritourism*) juga menjadi pilihan yang semakin populer untuk diversifikasi pendapatan. Melalui *agritourism*, petani dapat menarik wisatawan untuk mengunjungi lahan pertanian, memberikan pengalaman langsung dalam kegiatan pertanian, atau mempromosikan produk lokal. Hal ini tidak hanya mendiversifikasi pendapatan petani, tetapi juga meningkatkan kesadaran konsumen tentang pentingnya pertanian berkelanjutan dan produk lokal. Pariwisata berbasis pertanian juga berkontribusi pada pembangunan ekonomi lokal dengan menciptakan lapangan pekerjaan dan menarik wisatawan yang mendukung ekonomi komunitas.

c. Pemanfaatan Teknologi untuk Meningkatkan Keberlanjutan Ekonomi

Pemanfaatan teknologi dalam pertanian berkelanjutan telah menjadi faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan ekonomi. Salah satu teknologi yang banyak diadopsi oleh komunitas petani adalah sistem irigasi yang efisien, seperti irigasi tetes. Teknologi ini memungkinkan penggunaan air yang lebih hemat, sehingga mengurangi pemborosan sumber daya air, yang sangat penting dalam konteks perubahan iklim dan kelangkaan air. Sistem irigasi yang efisien tidak hanya menghemat biaya operasional tetapi juga meningkatkan hasil pertanian dengan memastikan tanaman mendapatkan pasokan air yang konsisten dan optimal (Altieri, 2018).

Penggunaan pupuk organik menjadi salah satu teknologi yang mendukung praktik pertanian ramah lingkungan. Pupuk organik tidak hanya meningkatkan kesuburan tanah tetapi juga mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang dapat merusak lingkungan dan mengurangi keanekaragaman hayati. Dengan menerapkan teknologi ini, petani dapat menghasilkan produk yang lebih sehat dan berkualitas, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem. Penerapan teknologi pertanian berbasis organik mendukung terciptanya pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam jangka panjang.

B. Pengaruh Pendidikan dan Pelatihan terhadap Praktik Berkelanjutan

Pendidikan dan pelatihan berperan krusial dalam mengembangkan praktik pertanian berkelanjutan, yang tidak hanya mendukung ketahanan pangan, tetapi juga menjaga keseimbangan lingkungan dan sosial. Program-program pendidikan dan pelatihan yang ditujukan kepada petani tidak hanya memfokuskan pada peningkatan keterampilan teknis, tetapi juga pada pemahaman akan pentingnya keberlanjutan dalam konteks pertanian. Pendidikan dan pelatihan di sektor pertanian adalah bagian dari upaya untuk meningkatkan kesadaran petani tentang tantangan dan peluang dalam mengadopsi praktik pertanian berkelanjutan. Salah satu aspek utama dari pendidikan ini adalah pengenalan terhadap teknologi pertanian yang ramah lingkungan, serta metode pertanian yang dapat mengurangi dampak negatif terhadap sumber daya alam. Pelatihan ini juga meliputi topik-topik seperti efisiensi penggunaan air, pengelolaan tanah yang baik, serta penggunaan bahan kimia pertanian secara bijaksana.

1. Meningkatkan Keterampilan Manajerial Petani

Peningkatan keterampilan manajerial petani sangat penting dalam mendorong pertanian berkelanjutan. Pelatihan pengelolaan keuangan, misalnya, memungkinkan petani untuk merencanakan dan mengalokasikan anggaran dengan lebih efisien. Hal ini tidak hanya membantunya mengelola biaya produksi, tetapi juga memudahkan dalam perencanaan untuk investasi jangka panjang. Dengan keterampilan ini, petani dapat membuat keputusan yang lebih baik mengenai kapan dan bagaimana membeli input pertanian, seperti benih dan pupuk, serta bagaimana mengelola pengeluaran agar tetap dalam batas yang wajar. Keterampilan manajerial dalam keuangan juga mengurangi ketergantungan petani pada kredit yang mahal atau tengkulak yang mengambil keuntungan tinggi.

Pelatihan dalam pengelolaan sumber daya alam adalah bagian penting dari pembangunan kapasitas petani. Pengelolaan air, tanah, dan energi secara efisien dapat mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan ketahanan pertanian terhadap perubahan iklim. Dengan keterampilan dalam mengelola sumber daya alam, petani dapat memastikan bahwa praktik pertanian tidak hanya produktif, tetapi juga

berkelanjutan. Pelatihan mengenai rotasi tanaman, agroforestry, dan penggunaan teknologi efisien seperti sistem irigasi hemat air dapat membantu petani mengelola tanah dan air dengan lebih bijaksana, sekaligus menjaga keseimbangan ekosistem.

2. Adopsi Teknologi Pertanian yang Lebih Berkelanjutan

Adopsi teknologi pertanian yang ramah lingkungan semakin penting untuk menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan. Pelatihan yang efektif dapat membantu petani memahami manfaat dan cara menggunakan teknologi yang lebih efisien dan lebih ramah lingkungan. Misalnya, pelatihan mengenai penggunaan pupuk organik memberi petani pemahaman tentang bagaimana bahan organik dapat menggantikan pupuk kimia, yang seringkali merusak tanah dan air. Dengan menggantikan pupuk kimia dengan pupuk organik, tanah tetap subur dan lebih sehat, serta mengurangi potensi pencemaran lingkungan. Hal ini bukan hanya bermanfaat untuk kesehatan tanah, tetapi juga mengurangi biaya jangka panjang yang terkait dengan pembelian pupuk kimia.

Pelatihan pengendalian hama secara alami dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang berbahaya bagi ekosistem. Teknologi seperti penggunaan predator alami atau tanaman pengusir hama dapat mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh hama tanpa merusak lingkungan atau menurunkan kualitas tanah. Petani yang teredukasi dengan baik dapat memanfaatkan keberagaman hayati di sekitar untuk menciptakan keseimbangan ekosistem, yang pada akhirnya meningkatkan hasil pertanian. Pengendalian hama secara alami tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga meningkatkan keberagaman hayati di kawasan pertanian.

3. Peningkatan Ketahanan Pangan dan Pendapatan Petani

Pendidikan dan pelatihan yang tepat dapat berperan penting dalam meningkatkan ketahanan pangan dan pendapatan petani. Salah satu pendekatan yang sangat efektif adalah melalui diversifikasi tanaman. Petani yang mengadopsi teknik diversifikasi tanaman tidak hanya mengurangi ketergantungan pada satu jenis produk, tetapi juga dapat meminimalkan risiko yang terkait dengan fluktuasi harga atau bencana alam yang merusak hasil pertanian. Misalnya, dengan menanam berbagai jenis tanaman yang memiliki siklus pertumbuhan berbeda,

petani dapat memastikan pasokan pangan tetap ada meskipun salah satu tanaman mengalami kegagalan panen. Diversifikasi ini juga memberi ruang bagi petani untuk memperoleh pendapatan tambahan dari produk yang berbeda, yang dapat meningkatkan ketahanan ekonomi.

Pendidikan tentang pengelolaan risiko dapat membantu petani menghadapi tantangan global yang semakin besar, seperti perubahan iklim dan ketidakpastian pasar. Pelatihan mengenai cara mengantisipasi dan mengelola risiko pertanian, baik melalui asuransi pertanian atau teknik mitigasi bencana alam, dapat memperkuat ketahanan pangan dalam komunitas petani. Petani yang teredukasi tentang manajemen risiko lebih mampu merencanakan masa depan dengan lebih baik, sehingga dapat mengurangi dampak dari bencana alam atau penurunan harga pangan yang tiba-tiba. Dalam jangka panjang, ini berkontribusi pada ketahanan pangan yang lebih stabil di tingkat rumah tangga dan komunitas.

C. Penguatan Koperasi dan Organisasi Petani

Penguatan koperasi dan organisasi petani berperan yang sangat penting dalam menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan. Koperasi dan organisasi petani bukan hanya sarana untuk meningkatkan daya tawar petani, tetapi juga berfungsi sebagai alat untuk memfasilitasi transfer pengetahuan, pengelolaan sumber daya bersama, dan advokasi kebijakan yang lebih menguntungkan bagi petani.

1. Peran Koperasi dalam Pertanian Berkelanjutan

Koperasi pertanian telah terbukti menjadi salah satu instrumen yang efektif dalam mendukung keberlanjutan pertanian. Koperasi memungkinkan petani untuk bergabung dan bekerja sama untuk mencapai tujuan bersama, seperti meningkatkan produksi, mengakses pasar, dan mengurangi biaya produksi. Melalui koperasi, petani dapat berbagi sumber daya dan informasi yang dapat meningkatkan produktivitas serta mengurangi kerugian yang terkait dengan produksi pertanian.

a. Pengelolaan Sumber Daya Bersama

Koperasi pertanian berperan penting dalam pengelolaan sumber daya bersama di kalangan petani. Melalui koperasi, petani dapat mengonsolidasikan kebutuhan, seperti pembelian benih, pupuk,

dan alat-alat pertanian, sehingga dapat memperoleh harga yang lebih kompetitif dibandingkan membeli secara individu. Dengan membeli dalam jumlah besar, koperasi dapat memanfaatkan skala ekonomi, yang pada gilirannya mengurangi biaya operasional dan meningkatkan daya saing produk pertanian. Hal ini memungkinkan petani untuk mengurangi ketergantungan pada perantara atau tengkulak yang sering kali memberikan harga yang tidak adil, serta menciptakan peluang untuk mendapatkan barang dengan kualitas yang lebih baik dan harga yang lebih wajar.

Koperasi membantu petani dalam hal pemasaran hasil pertanian. Dalam sistem pasar yang sering kali tidak transparan, koperasi berfungsi sebagai saluran yang lebih adil untuk memasarkan produk petani. Dengan menggabungkan produk dari berbagai anggota, koperasi dapat menegosiasikan harga jual yang lebih baik dengan pembeli atau pengepul besar, yang biasanya lebih sulit dijangkau oleh petani individu. Keuntungan yang diperoleh dari penjualan produk dapat didistribusikan kembali ke petani, meningkatkan pendapatannya secara kolektif. Hal ini juga mengurangi potensi eksploitasi oleh pihak-pihak yang memiliki kekuatan tawar lebih tinggi dalam sistem pasar.

b. Akses ke Teknologi dan Pembiayaan

Koperasi pertanian berperan strategis dalam memperkenalkan teknologi ramah lingkungan kepada petani, yang sering kali terbatas oleh keterbatasan akses terhadap inovasi pertanian terbaru. Melalui koperasi, petani dapat memperoleh informasi tentang teknologi pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan, seperti sistem irigasi hemat air, penggunaan pupuk organik, dan teknologi pengelolaan tanah yang ramah lingkungan. Koperasi juga berperan sebagai saluran penyebaran pengetahuan dan pelatihan bagi petani, memastikan mereka dapat mengadopsi metode-metode pertanian yang mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta meningkatkan hasil dan kualitas produk pertanian.

Koperasi memberikan kemudahan bagi petani untuk mengakses pembiayaan yang sangat dibutuhkan untuk mengimplementasikan teknologi baru. Banyak petani menghadapi kendala finansial dalam mengakses kredit atau

pinjaman untuk membeli peralatan atau mengupgrade metode pertanian. Melalui koperasi, petani dapat memperoleh pinjaman dengan bunga yang lebih rendah atau bahkan tanpa jaminan, yang membuat investasi dalam teknologi baru menjadi lebih terjangkau. Koperasi juga dapat berperan sebagai perantara antara petani dan lembaga keuangan, memperjuangkan pinjaman yang lebih menguntungkan atau subsidi yang mendukung pengembangan pertanian berkelanjutan.

c. Advokasi Kebijakan

Koperasi pertanian berperan penting dalam memberikan suara kolektif bagi petani dalam advokasi kebijakan, terutama terkait dengan kepentingan petani kecil dan keberlanjutan pertanian. Dengan adanya koperasi, petani dapat menggabungkan kekuatan untuk menyampaikan tuntutan dan kebutuhan kepada pemerintah dan lembaga pembuat kebijakan. Koperasi menjadi wadah yang memungkinkan petani untuk berbicara secara bersama-sama mengenai isu-isu yang mempengaruhi kehidupan, seperti akses terhadap pasar, harga yang adil, serta kebijakan terkait pertanian berkelanjutan. Dalam hal ini, koperasi berfungsi sebagai jembatan komunikasi yang efektif antara petani dan pembuat kebijakan.

Dengan koperasi, petani dapat memengaruhi kebijakan pemerintah yang mendukung praktik pertanian ramah lingkungan dan berkelanjutan. Koperasi dapat mendorong pembuat kebijakan untuk menyediakan subsidi untuk pertanian berkelanjutan, memberikan insentif bagi petani yang menerapkan metode pertanian organik, serta mendukung kebijakan pengelolaan sumber daya alam yang lebih efisien. Dengan mengorganisir petani dalam sebuah wadah yang terstruktur, koperasi memiliki kapasitas untuk melakukan lobi dan memperjuangkan perubahan kebijakan yang dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi petani kecil dan lingkungan.

2. Peran Organisasi Petani dalam Keberlanjutan Pertanian

Organisasi petani juga memiliki peran yang sangat penting dalam memperkuat keberlanjutan pertanian. Organisasi petani dapat berupa asosiasi, kelompok tani, atau bahkan federasi petani yang bertujuan untuk memperjuangkan hak-hak petani dan memfasilitasi akses ke

berbagai sumber daya. Organisasi-organisasi ini berfungsi untuk memperkuat kapasitas kolektif petani, meningkatkan solidaritas, dan menciptakan sistem pertanian yang lebih inklusif dan berkelanjutan.

a. Penyuluhan dan Pendidikan

Organisasi petani berperan penting dalam penyuluhan dan pendidikan kepada petani, yang membantunya mengadopsi praktik pertanian berkelanjutan. Melalui berbagai pelatihan dan seminar, organisasi ini memberikan pengetahuan kepada petani tentang teknik-teknik pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan, seperti penggunaan pupuk organik, pengelolaan irigasi yang hemat air, serta teknik pengendalian hama secara alami. Penyuluhan ini sangat berharga dalam meningkatkan kapasitas petani untuk mengelola lahan dengan cara yang lebih efisien, yang tidak hanya meningkatkan hasil pertanian tetapi juga menjaga kelestarian lingkungan.

Organisasi petani juga sering memberikan pendidikan mengenai manajemen keuangan yang efektif. Hal ini membantu petani untuk mengelola pendapatan dan pengeluarannya dengan lebih baik, serta mempersiapkannya untuk menghadapi ketidakpastian pasar dan perubahan iklim. Dengan keterampilan manajerial yang lebih baik, petani dapat membuat keputusan yang lebih bijaksana dalam hal pembelian input, penjualan hasil pertanian, serta investasi untuk meningkatkan keberlanjutan usaha pertanian. Ini juga memungkinkan petani untuk meningkatkan daya saing di pasar.

b. Akses ke Pasar dan Pemasaran

Organisasi petani berperan penting dalam memperluas akses petani ke pasar yang lebih besar, baik di tingkat lokal, nasional, maupun internasional. Dengan bergabung dalam organisasi, petani dapat menggabungkan produknya untuk memperoleh volume yang cukup besar, yang memungkinkan untuk memasuki pasar yang lebih luas. Organisasi ini dapat bertindak sebagai perantara yang menghubungkan petani dengan distributor, pengecer, atau bahkan eksportir, sehingga memudahkan pemasaran produk pertanian. Selain itu, melalui kerjasama dengan lembaga lain, organisasi petani dapat membuka peluang bagi petani untuk menjangkau pasar yang sebelumnya sulit diakses, meningkatkan pendapatan secara signifikan.

Organisasi petani juga berperan kunci dalam melindungi hak-hak petani dalam hubungan pasar, dapat membantu petani dalam negosiasi harga yang lebih adil dengan pembeli atau tengkulak, yang sering kali memanfaatkan ketergantungan petani pada pasar yang tidak menguntungkan. Organisasi ini berfungsi sebagai suara kolektif petani, memberikannya posisi tawar yang lebih kuat dan memastikan bahwa ia mendapatkan harga yang adil untuk produk. Hal ini penting untuk memastikan kesejahteraan ekonomi petani dan mencegah eksploitasi dalam rantai pasok.

c. Partisipasi dalam Pengambilan Keputusan

Organisasi petani berperan vital dalam memastikan partisipasi petani dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan sektor pertanian. Dengan bergabung dalam organisasi, petani memiliki platform untuk menyuarakan pendapatnya dan berkontribusi dalam pembentukan kebijakan yang mempengaruhi kehidupan. Partisipasi ini memungkinkan petani untuk lebih terlibat dalam keputusan mengenai regulasi pertanian, peraturan lingkungan, dan distribusi subsidi yang berkaitan dengan pertanian berkelanjutan. Dengan adanya representasi yang kuat dalam proses pembuatan kebijakan, kebutuhan dan tantangan yang dihadapi oleh petani, terutama petani kecil, dapat lebih diperhatikan.

Keterlibatan aktif petani dalam pengambilan keputusan juga mendorong kebijakan yang lebih responsif dan inklusif. Tanpa partisipasi petani, kebijakan yang dihasilkan sering kali tidak mencerminkan realitas di lapangan dan kurang efektif dalam mengatasi permasalahan yang dihadapi petani. Misalnya, kebijakan yang hanya didasarkan pada perspektif pemerintah atau pihak-pihak lain dalam industri pertanian dapat mengabaikan kebutuhan spesifik petani kecil, yang sering kali menghadapi tantangan lebih besar dalam mengakses sumber daya atau teknologi yang diperlukan untuk praktik pertanian berkelanjutan. Melalui organisasi, petani dapat menyampaikan keprihatinan dan mendorong kebijakan yang lebih berpihak.

D. Gender dan Inklusi Sosial dalam Pertanian Berkelanjutan

Pentingnya integrasi gender dan inklusi sosial dalam pertanian berkelanjutan semakin diakui sebagai bagian dari upaya menciptakan sistem pertanian yang adil, setara, dan berkelanjutan. Gender, yang sering kali mempengaruhi akses terhadap sumber daya, keputusan, dan manfaat dari pertanian, berperan kunci dalam keberlanjutan sektor ini.

1. Peran Gender dalam Pertanian Berkelanjutan

Peran perempuan dalam sektor pertanian di banyak negara berkembang sangat vital, meskipun sering menghadapi hambatan dalam mengakses sumber daya dan peluang yang sama seperti pria. Wanita di desa dan daerah pedesaan sering kali terlibat dalam kegiatan pertanian, baik dalam produksi pangan, pengolahan, maupun pemasaran hasil pertanian. Namun, kendati kontribusinya signifikan, perempuan sering kali tidak terlibat dalam pengambilan keputusan terkait pertanian dan cenderung terpinggirkan dalam hal akses terhadap tanah, teknologi, serta pembiayaan.

Diskriminasi gender ini berdampak pada kemampuan perempuan untuk berkontribusi secara maksimal terhadap keberlanjutan pertanian. Keterbatasan akses perempuan terhadap sumber daya penting seperti tanah dan teknologi modern membatasi kapasitas dalam menerapkan praktik pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Di sisi lain, penelitian juga menunjukkan bahwa perempuan memiliki pengetahuan lokal yang sangat berharga dalam hal pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, sering kali lebih memperhatikan keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan keluarga, yang menjadikannya agen perubahan yang potensial dalam pertanian berkelanjutan jika diberi kesempatan yang setara.

2. Mengatasi Ketidaksetaraan Gender dalam Pertanian

Mengatasi ketidaksetaraan gender dalam pertanian berkelanjutan memerlukan pendekatan yang komprehensif dan terintegrasi. Salah satu langkah penting adalah memberikan perempuan akses yang setara terhadap hak atas tanah dan sumber daya pertanian lainnya. Di banyak negara, perempuan sering kali tidak memiliki hak yang sama untuk mengakses atau mewarisi tanah, yang membatasi kemampuan untuk berinvestasi dalam pertanian jangka panjang dan mengadopsi praktik

pertanian yang berkelanjutan. Inisiatif reformasi agraria yang mendukung pembagian tanah kepada perempuan telah terbukti efektif dalam mengatasi ketidaksetaraan ini. Misalnya, di Nepal, kebijakan reformasi agraria yang memberi hak kepemilikan tanah kepada perempuan telah berkontribusi pada peningkatan ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat, serta memperkuat posisi perempuan dalam sektor pertanian.

Pelatihan keterampilan bagi perempuan di sektor pertanian juga sangat penting. Program pelatihan yang fokus pada peningkatan keterampilan teknis, seperti pengelolaan pertanian berkelanjutan, manajemen sumber daya alam, dan pemasaran hasil pertanian, dapat meningkatkan kemampuan perempuan untuk berkontribusi lebih besar dalam produksi pangan. Pelatihan semacam ini tidak hanya memperkenalkan teknik-teknik pertanian yang lebih ramah lingkungan, tetapi juga memperkuat peran perempuan dalam pengambilan keputusan di tingkat keluarga dan komunitas. Hal ini berpotensi menciptakan perubahan yang lebih inklusif dan berkelanjutan dalam pengelolaan sumber daya alam.

3. Inklusi Sosial dan Keberagaman dalam Pertanian Berkelanjutan

Inklusi sosial merupakan salah satu aspek penting dalam memastikan keberlanjutan pertanian. Dalam konteks ini, inklusi sosial berarti memberikan hak yang setara kepada semua individu tanpa memandang latar belakang etnis, sosial, atau ekonomi. Kelompok masyarakat yang sering terpinggirkan, seperti masyarakat adat dan kelompok minoritas, sering kali memiliki pengetahuan lokal yang sangat bernilai dalam mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan. Pengetahuan ini, yang diturunkan dari generasi ke generasi, mencakup cara-cara yang ramah lingkungan dalam bertani, mengelola hutan, dan melestarikan ekosistem. Namun, meskipun kontribusinya dalam keberlanjutan seringkali signifikan, kelompok-kelompok ini sering kali terabaikan dalam kebijakan pertanian yang dominan, yang lebih sering fokus pada model industri atau konvensional.

Kebijakan yang inklusif dalam sektor pertanian dapat memperkuat kontribusi masyarakat adat dan kelompok terpinggirkan lainnya dalam pengelolaan sumber daya alam. Ini termasuk pengakuan terhadap hak-hak masyarakat adat atas tanahnya, yang sering kali telah

dikuasai secara turun-temurun. Pengakuan ini memungkinkan untuk melanjutkan praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan dan mempertahankan cara hidup yang berkelanjutan. Selain itu, kebijakan inklusif juga dapat mencakup dukungan terhadap keberagaman dalam pengelolaan sumber daya alam, memastikan bahwa berbagai perspektif dan praktik lokal diakomodasi dalam kebijakan pertanian. Hal ini sangat penting dalam menciptakan sistem pertanian yang adil dan berkelanjutan bagi semua pihak yang terlibat.

4. Dampak Positif dari Inklusi Gender dan Sosial dalam Pertanian Berkelanjutan

Integrasi gender dan inklusi sosial dalam pertanian berkelanjutan membawa dampak positif yang signifikan, tidak hanya bagi individu tetapi juga untuk masyarakat secara keseluruhan. Studi menunjukkan bahwa ketika perempuan diberdayakan dalam sektor pertanian, hasilnya melampaui peningkatan ketahanan pangan dan pendapatan keluarga. Pemberdayaan perempuan sering kali berhubungan dengan peningkatan keberagaman pendapatan, pengelolaan sumber daya alam yang lebih berkelanjutan, serta peningkatan ketahanan komunitas terhadap krisis pangan dan perubahan iklim. Sebagai contoh, perempuan yang memiliki akses yang lebih besar terhadap pendidikan dan teknologi pertanian cenderung lebih inovatif dalam menerapkan praktik pertanian berkelanjutan, seperti penggunaan teknik agroekologi yang mendukung pelestarian tanah dan air.

Pemberdayaan perempuan dalam pertanian juga memberikan dampak positif pada struktur sosial komunitas. Ketika perempuan diberi kesempatan untuk berperan aktif dalam pengambilan keputusan, baik di tingkat keluarga maupun komunitas, tidak hanya berkontribusi pada peningkatan produksi pertanian, tetapi juga meningkatkan kapasitas komunitas untuk mengatasi tantangan ekonomi dan sosial. Keberhasilan perempuan dalam mengelola sumber daya alam dan mengimplementasikan praktik pertanian yang ramah lingkungan menunjukkan pentingnya perspektif gender dalam mencapai keberlanjutan pertanian. Ini juga dapat memperkuat ketahanan masyarakat terhadap perubahan iklim yang semakin ekstrem, yang berdampak langsung pada produksi pangan.

E. Budaya Lokal dan Tradisi Pertanian yang Berkelanjutan

Budaya lokal dan tradisi pertanian berperan penting dalam menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan. Keberlanjutan pertanian tidak hanya melibatkan teknologi modern dan kebijakan negara, tetapi juga mempertimbangkan nilai-nilai, praktik, dan pengetahuan lokal yang telah berkembang dalam masyarakat selama berabad-abad. Budaya lokal dan tradisi pertanian sering kali mengandung prinsip-prinsip keberlanjutan yang dapat menjadi landasan bagi pengelolaan sumber daya alam secara bijaksana, menjaga keseimbangan ekosistem, dan meningkatkan ketahanan pangan.

Budaya lokal merujuk pada kebiasaan, nilai, pengetahuan, dan praktik yang dimiliki oleh masyarakat tertentu, yang diwariskan turun-temurun. Dalam konteks pertanian, budaya lokal sering kali mencakup cara-cara pengelolaan tanah, tanaman, dan hewan yang telah disesuaikan dengan kondisi lingkungan setempat. Tradisi pertanian yang berkelanjutan adalah suatu pendekatan yang mengutamakan konservasi alam, penggunaan sumber daya yang efisien, dan keberlanjutan jangka panjang dalam kegiatan pertanian.

Tradisi pertanian yang berkelanjutan dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, mulai dari penggunaan teknik agroekologi, pengelolaan irigasi yang ramah lingkungan, hingga pemanfaatan bahan organik dalam pertanian. Beberapa komunitas telah mengembangkan cara-cara yang sangat efisien untuk menjaga kesuburan tanah, mengelola air, dan melestarikan keanekaragaman hayati melalui praktek-praktek yang telah ada selama berabad-abad.

1. Praktik Tradisional yang Mendukung Keberlanjutan

Praktik tradisional pertanian yang mendukung keberlanjutan telah terbukti efektif dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan meningkatkan ketahanan pangan. Salah satu contoh paling terkenal adalah sistem pertanian berbasis agroekologi, di mana petani memanfaatkan pengetahuan lokal untuk menciptakan lingkungan pertanian yang lebih seimbang dan ramah terhadap alam. Di Indonesia, misalnya, praktik tumpang sari dan rotasi tanaman telah diterapkan oleh banyak petani untuk menjaga kesuburan tanah. Dengan menanam berbagai jenis tanaman dalam satu lahan, petani tidak hanya mengurangi risiko gagal panen akibat serangan hama atau penyakit, tetapi juga

meningkatkan keragaman tanaman yang mendukung keseimbangan ekosistem pertanian. Tanaman yang berbeda dapat saling melengkapi dalam hal nutrisi tanah dan perlindungan terhadap hama.

Praktik rotasi tanaman dan tumpang sari memungkinkan petani untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dan pestisida, yang sering kali merusak lingkungan dan mengurangi kesuburan tanah dalam jangka panjang. Selain itu, dengan menanam berbagai tanaman, petani dapat memaksimalkan penggunaan sumber daya alam yang tersedia, seperti air dan sinar matahari, yang pada gilirannya meningkatkan hasil pertanian secara berkelanjutan. Praktik-praktik ini tidak hanya mendukung ketahanan pangan lokal tetapi juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan dan keanekaragaman hayati.

2. Warisan Pengetahuan Lokal dalam Pertanian

Warisan pengetahuan lokal yang dimiliki oleh petani tradisional berperan yang sangat penting dalam menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan. Pengetahuan ini mencakup berbagai keterampilan, seperti kemampuan untuk mengenali pola cuaca yang berubah, serta pemahaman mendalam tentang penggunaan tanaman lokal yang dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem. Selain itu, teknik-teknik pengelolaan tanah yang ramah lingkungan, seperti rotasi tanaman, tumpang sari, dan agroforestri, merupakan bagian integral dari pengetahuan lokal yang diwariskan secara turun-temurun. Pengetahuan ini tidak hanya membantu petani untuk beradaptasi dengan perubahan iklim, tetapi juga memungkinkan untuk memelihara keseimbangan alam yang vital bagi keberlanjutan produksi pangan.

Di banyak daerah pedesaan, pengetahuan lokal tentang pertanian diperoleh melalui pengalaman bertahun-tahun dan sering kali dijaga dalam bentuk cerita rakyat, mitos, dan upacara adat. Misalnya, dalam masyarakat adat di Indonesia, konsep keberlanjutan pertanian sering diintegrasikan dengan nilai-nilai spiritual yang mengajarkan pentingnya hubungan harmonis antara manusia dan alam. Kepercayaan bahwa bumi harus dihormati dan dikelola dengan bijaksana tercermin dalam berbagai praktik pertanian tradisional yang berfokus pada pelestarian tanah dan keanekaragaman hayati. Meskipun pengetahuan ini sering kali tidak tertulis, namun kekayaan informasi yang terkandung di dalamnya sangat berharga untuk menciptakan sistem pertanian yang tahan terhadap tekanan lingkungan.

3. Pelestarian Keanekaragaman Hayati melalui Budaya Lokal

Keanekaragaman hayati merupakan elemen yang sangat penting dalam menjaga keberlanjutan sistem pertanian. Ekosistem yang kaya akan keanekaragaman hayati lebih mampu bertahan terhadap serangan hama dan penyakit, serta perubahan iklim yang semakin tidak menentu. Tanpa keanekaragaman hayati yang sehat, pertanian akan menjadi lebih rentan terhadap faktor eksternal yang dapat mengganggu produksi pangan. Dalam konteks ini, budaya lokal sering kali berperan penting dalam mempertahankan dan melestarikan keanekaragaman hayati melalui praktik-praktik pertanian yang ramah lingkungan. Masyarakat tradisional, yang telah hidup berdampingan dengan alam selama berabad-abad, sering memiliki pengetahuan mendalam tentang bagaimana menjaga keseimbangan ekosistem dan memanfaatkan sumber daya alam secara berkelanjutan.

Salah satu contoh konkret tentang bagaimana budaya lokal berkontribusi terhadap pelestarian keanekaragaman hayati dapat ditemukan di Ethiopia. Di negara ini, banyak petani tradisional masih mengandalkan varietas tanaman lokal yang telah dikembangkan selama berabad-abad untuk beradaptasi dengan kondisi iklim dan tanah setempat. Varietas tanaman lokal ini, meskipun tidak selalu seproduktif varietas komersial, memiliki ketahanan yang luar biasa terhadap kekeringan, penyakit, dan kondisi lingkungan yang ekstrem. Hal ini menjadikan varietas lokal tersebut lebih mampu bertahan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan ketidakpastian cuaca, yang semakin meningkat di banyak wilayah dunia.



BAB X

STUDI KASUS KEBERLANJUTAN PERTANIAN DI DUNIA

Pada konteks global, keberlanjutan pertanian membutuhkan pendekatan yang adaptif, mempertimbangkan kondisi lokal seperti iklim, budaya, serta sumber daya alam yang tersedia. Beberapa negara telah berhasil mengembangkan model pertanian yang mendukung ketahanan pangan sambil menjaga lingkungan, sedangkan negara lain menghadapi kesulitan besar yang mempengaruhi efektivitas program-program tersebut. Studi kasus ini membahas berbagai contoh sukses seperti pertanian organik di Eropa dan agroforestry di Afrika, yang menekankan pada pemulihan tanah dan keanekaragaman hayati. Meskipun terdapat banyak contoh positif, implementasi global dari pertanian berkelanjutan sering kali terhambat oleh kebijakan yang tidak mendukung atau masalah sosial-ekonomi yang mendalam. Misalnya, di negara-negara berkembang, kendala ekonomi dan ketidaksetaraan sosial sering kali menjadi penghalang untuk adopsi luas praktik pertanian berkelanjutan.

A. Keberlanjutan Pertanian di Negara Berkembang

Keberlanjutan pertanian di negara berkembang merupakan tantangan besar yang melibatkan faktor-faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan. Meskipun negara berkembang menghadapi keterbatasan sumber daya, infrastruktur, dan teknologi, banyak inisiatif pertanian berkelanjutan telah berhasil menunjukkan dampak positif dalam meningkatkan ketahanan pangan, kesejahteraan petani, dan pelestarian lingkungan. Negara berkembang menghadapi tantangan yang unik dalam mencapai pertanian berkelanjutan. Sebagian besar penduduknya bergantung pada pertanian sebagai sumber utama mata pencaharian, namun juga menghadapi tantangan besar terkait ketahanan pangan, degradasi lahan, perubahan iklim, dan akses terbatas ke teknologi dan

pasar. Keberlanjutan pertanian di negara berkembang melibatkan pengelolaan sumber daya alam secara bijaksana, serta peningkatan kapasitas produksi pangan tanpa merusak lingkungan untuk generasi mendatang.

Beberapa prinsip dasar dalam pertanian berkelanjutan, seperti agroekologi, pertanian organik, dan diversifikasi tanaman, semakin diterima oleh banyak negara berkembang sebagai pendekatan yang tidak hanya menjaga keseimbangan ekosistem tetapi juga meningkatkan kesejahteraan petani. Melalui studi kasus, berbagai negara menunjukkan bagaimana tradisi pertanian lokal dan teknologi modern dapat berkolaborasi untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan.

1. Kasus Keberlanjutan Pertanian di Afrika: Inisiatif Agroekologi di Kenya

Kenya, salah satu negara berkembang di Afrika, menghadapi tantangan berat dalam memastikan ketahanan pangan di tengah perubahan iklim yang semakin intensif. Tanah yang terdegradasi dan curah hujan yang tidak dapat diprediksi sering kali menjadi penghambat produktivitas pertanian. Namun, inisiatif agroekologi di Kenya, seperti program *Farmer Managed Natural Regeneration* (FMNR), menawarkan solusi yang inovatif. Agroekologi berfokus pada pemanfaatan keanekaragaman hayati lokal, penggunaan bahan organik, serta pengelolaan ekosistem alami untuk mendukung keberlanjutan pertanian. Inisiatif ini telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan kesejahteraan petani sambil menjaga lingkungan.

Program FMNR berupaya memulihkan ekosistem melalui regenerasi pohon-pohon yang ada di lahan pertanian. Pendekatan ini melibatkan pemangkasan pohon secara selektif untuk mendorong pertumbuhan cabang baru, meningkatkan kesuburan tanah, dan mengurangi erosi. Dengan adanya pohon, siklus air dan struktur tanah diperbaiki, sehingga lahan menjadi lebih subur dan tahan terhadap perubahan iklim. Di Kenya, penerapan FMNR juga memungkinkan petani menanam tanaman pangan di antara pohon-pohon tersebut, menciptakan sistem pertanian yang lebih produktif dan ramah lingkungan.

Sistem ini tidak hanya mengurangi kerugian akibat kekeringan, tetapi juga memberikan manfaat tambahan berupa kayu bakar, pakan

ternak, dan bahan organik. Keanekaragaman ekosistem yang dihasilkan juga mendukung populasi serangga penyerbuk dan mengendalikan hama secara alami, menciptakan ekosistem yang seimbang.

Dari perspektif sosial, FMNR memberdayakan komunitas petani untuk mengelola sumber daya alamnya sendiri dengan pendekatan berbasis pengetahuan lokal. Pelatihan dan pendampingan dalam program ini membantu petani memahami pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem, sekaligus memberikan keterampilan teknis yang dibutuhkan. Hal ini menciptakan rasa kepemilikan yang kuat, sehingga komunitas terlibat aktif dalam keberlanjutan program. Agroekologi di Kenya juga menunjukkan dampak positif terhadap mitigasi perubahan iklim. Dengan meningkatkan tutupan pohon, FMNR membantu menyerap karbon dari atmosfer, mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, sistem pertanian ini lebih tahan terhadap variabilitas iklim, seperti kekeringan panjang, yang sering melanda wilayah tersebut. Petani dapat menjaga hasil panen dalam kondisi yang lebih stabil, meskipun lingkungan sekitar mengalami tekanan.

2. Kasus di India: Pertanian Organik dan Ketahanan Pangan

India adalah salah satu negara berkembang yang mengalami transformasi signifikan dalam sektor pertaniannya melalui adopsi strategi pertanian berkelanjutan. Dengan lebih dari 60% populasinya bergantung pada sektor ini untuk mata pencaharian, tantangan seperti ketergantungan pada monokultur, degradasi tanah, dan penggunaan pestisida kimia menjadi masalah utama. Namun, langkah-langkah inovatif seperti program pertanian organik di Negara Bagian Sikkim memberikan contoh bagaimana pertanian yang ramah lingkungan dapat meningkatkan ketahanan pangan sekaligus melindungi ekosistem. Langkah ini menunjukkan potensi pertanian berkelanjutan dalam memecahkan masalah agraria sambil memperkuat kesejahteraan masyarakat lokal.

Pada tahun 2016, Sikkim mencatat sejarah sebagai negara bagian pertama di India yang sepenuhnya beralih ke pertanian organik. Kebijakan ini mencakup pelarangan penggunaan pupuk kimia dan pestisida sintetis, menggantinya dengan alternatif organik yang lebih aman bagi lingkungan. Program ini melibatkan petani lokal dalam pelatihan intensif tentang teknik pertanian organik, mulai dari pengelolaan hama alami hingga pembuatan kompos. Pemerintah daerah

juga berperan penting dengan memberikan dukungan regulasi, pendanaan, dan akses pasar untuk produk organik.

Keberhasilan ini didukung oleh dampak positif terhadap ekosistem alami. Inisiatif tersebut meningkatkan kesuburan tanah, kualitas air, dan keanekaragaman hayati. Penggunaan bahan organik mengurangi risiko kontaminasi kimia yang sering terjadi dalam sistem pertanian konvensional. Dalam jangka panjang, program ini juga memperkuat ketahanan pertanian terhadap perubahan iklim, seperti kekeringan dan banjir, yang semakin sering terjadi di wilayah tersebut. Selain manfaat ekologis, keberhasilan program ini juga berdampak langsung pada ekonomi petani. Dengan peningkatan kualitas produk, petani di Sikkim mampu menjual hasil panen dengan harga premium di pasar domestik dan internasional. Dukungan komunitas dalam pengelolaan pertanian organik juga memperkuat jaringan ekonomi lokal, menciptakan model yang mampu mengurangi ketergantungan pada impor pupuk dan pestisida mahal.

Peralihan menuju sistem organik bukan tanpa tantangan. Pada tahap awal implementasi, banyak petani menghadapi penurunan hasil panen akibat transisi dari metode konvensional. Butuh waktu dan pelatihan yang intensif untuk mengoptimalkan metode organik agar mampu menghasilkan panen yang setara atau lebih tinggi. Pemerintah juga harus terus memperkuat pasar bagi produk organik agar insentif ekonomi tetap menarik bagi petani. Keberhasilan Sikkim menjadi pelajaran penting tentang bagaimana pendekatan berbasis ekosistem dapat menciptakan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan. Inisiatif ini membuktikan bahwa dengan perencanaan yang matang dan dukungan kebijakan yang tepat, transformasi ke arah pertanian organik dapat memberikan manfaat ekologis, ekonomi, dan sosial yang signifikan. Sikkim kini menjadi model bagi daerah lain di India dan dunia untuk mengadopsi praktik serupa.

3. Kasus di Brasil: Pertanian Berbasis Agroforestri di Amazon

Brasil, sebagai negara dengan ekosistem hutan hujan tropis terbesar di dunia, menghadapi tantangan besar dalam menyeimbangkan kebutuhan pertanian dengan konservasi hutan Amazon. Deforestasi akibat ekspansi pertanian sering kali menjadi penyebab utama degradasi lingkungan di wilayah tersebut. Namun, agroforestri muncul sebagai solusi inovatif yang memungkinkan peningkatan produktivitas pertanian

sekaligus melindungi lingkungan. Sistem ini mengintegrasikan pohon-pohon bernilai ekonomis dengan tanaman pangan dan peternakan, memberikan manfaat ekologis sekaligus keuntungan ekonomi bagi petani setempat.

Di Amazon, praktik agroforestri telah terbukti memulihkan lahan terdegradasi. Dengan menanam pohon-pohon seperti kacang Brazil, kakao, dan buah-buahan tropis, tanah yang sebelumnya rusak dapat kembali subur. Pohon-pohon ini juga membantu menyerap karbon dari atmosfer, menjadikan agroforestri sebagai strategi penting dalam mitigasi perubahan iklim. Integrasi ini tidak hanya meningkatkan hasil panen tetapi juga menciptakan sumber pendapatan tambahan bagi masyarakat lokal melalui produk pohon bernilai tinggi.

Inisiatif agroforestri di Amazon berhasil menurunkan tingkat deforestasi di wilayah tersebut. Selain itu, praktik ini mendukung ketahanan pangan dengan menyediakan pasokan makanan beragam bagi komunitas lokal. Dukungan teknis dan pelatihan bagi petani menjadi kunci keberhasilan program ini, memastikan bahwa agroforestri diterapkan secara efektif dan berkelanjutan. Keberhasilan agroforestri di Brasil juga menarik perhatian komunitas internasional. Program-program seperti ini mendapatkan dukungan dari organisasi global yang fokus pada konservasi hutan dan mitigasi perubahan iklim. Pendekatan berbasis komunitas ini membantu memperkuat hubungan antara konservasi lingkungan dan kesejahteraan manusia, menjadikannya model yang relevan bagi negara-negara tropis lainnya.

Tantangan tetap ada, terutama dalam hal memastikan skala implementasi yang cukup besar untuk mencakup wilayah yang luas. Konflik kepentingan antara pelaku agribisnis besar dan komunitas lokal sering kali menghambat perkembangan program ini. Selain itu, dukungan kebijakan yang lebih kuat diperlukan untuk mengurangi deforestasi yang didorong oleh kebutuhan ekspansi pertanian. Keberhasilan agroforestri di Amazon Brasil menjadi bukti bahwa pertanian berkelanjutan dapat menjadi solusi atas tantangan lingkungan global. Dengan melibatkan masyarakat lokal dan memanfaatkan pendekatan berbasis ekosistem, agroforestri tidak hanya melestarikan hutan Amazon tetapi juga meningkatkan kesejahteraan komunitas lokal. Pelajaran dari Brasil ini dapat menjadi inspirasi bagi dunia untuk mengintegrasikan tujuan ekonomi dan ekologis secara harmonis.

4. Kasus di Indonesia: Pertanian Berkelanjutan dan Kehutanan Rakyat

Indonesia, dengan keanekaragaman hayati yang luar biasa dan ekosistem hutan tropis yang luas, menghadapi tantangan serius terkait deforestasi dan keberlanjutan pertanian. Salah satu upaya untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menerapkan sistem kehutanan rakyat yang melibatkan masyarakat lokal secara aktif dalam pengelolaan hutan. Kehutanan rakyat menjadi solusi yang memadukan pelestarian lingkungan dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat, khususnya di daerah pedesaan. Sistem ini menempatkan masyarakat sebagai pengelola utama hutan dengan hak untuk memanfaatkan hasil hutan secara berkelanjutan. Di Jawa Barat, misalnya, kehutanan rakyat telah berhasil mendorong praktik agroforestri, yaitu sistem yang mengintegrasikan tanaman pangan dengan pohon hutan. Praktik ini memberikan manfaat ganda: meningkatkan produktivitas lahan pertanian sekaligus menjaga kelestarian hutan. Produk-produk seperti kayu, buah-buahan, dan rempah-rempah menjadi sumber pendapatan tambahan bagi masyarakat lokal.

Keberhasilan program kehutanan rakyat juga tercermin dalam pengurangan aktivitas penebangan liar. Masyarakat yang terlibat dalam program ini memiliki kesadaran lebih tinggi terhadap pentingnya pelestarian hutan. Sebagai hasilnya, wilayah yang dikelola melalui program kehutanan rakyat menunjukkan tingkat degradasi lahan yang lebih rendah dibandingkan wilayah lain. Hal ini menjadi bukti bahwa pendekatan berbasis komunitas efektif dalam menjaga kelestarian lingkungan. Selain dampak ekologis, program kehutanan rakyat juga memiliki manfaat sosial-ekonomi. Dengan akses yang lebih baik ke hasil hutan, masyarakat desa dapat meningkatkan ketahanan pangan. Berbagai produk hutan, seperti buah-buahan dan sayur-sayuran, tidak hanya mencukupi kebutuhan pangan keluarga tetapi juga menjadi komoditas untuk dijual di pasar lokal. Pendekatan ini memberikan insentif ekonomi yang kuat bagi masyarakat untuk terus melestarikan hutan.

Tantangan utama yang dihadapi dalam implementasi kehutanan rakyat adalah kebutuhan akan dukungan kebijakan yang konsisten. Kebijakan pemerintah yang mendukung, seperti pemberian hak kelola hutan kepada masyarakat, sangat penting untuk keberlanjutan program ini. Selain itu, pelatihan teknis tentang pengelolaan hutan dan pertanian berkelanjutan juga diperlukan untuk memastikan masyarakat memiliki

kapasitas yang memadai. Keberhasilan kehutanan rakyat di Indonesia menunjukkan bahwa pelestarian lingkungan tidak harus bertentangan dengan pembangunan ekonomi. Dengan memberdayakan masyarakat lokal, program ini menciptakan sinergi antara kebutuhan manusia dan pelestarian alam. Pengalaman Indonesia dalam menerapkan kehutanan rakyat menjadi model yang relevan bagi negara-negara lain dengan masalah deforestasi serupa.

B. Pertanian Berkelanjutan di Negara Maju

Pertanian berkelanjutan di negara maju tidak hanya mengandalkan teknologi tinggi, tetapi juga mengintegrasikan prinsip-prinsip lingkungan dan sosial untuk mencapai hasil yang berkelanjutan. Negara-negara maju, meskipun memiliki kapasitas sumber daya yang lebih besar, menghadapi tantangan untuk menjaga keberlanjutan pertanian, baik dalam hal pengelolaan lahan, ketahanan pangan, serta dampaknya terhadap lingkungan.

1. Keberlanjutan Pertanian di Belanda: Sistem Pertanian Intensif yang Ramah Lingkungan

Belanda adalah salah satu contoh negara yang berhasil mengembangkan sistem pertanian berkelanjutan meskipun menghadapi keterbatasan sumber daya. Dengan luas lahan yang kecil, negara ini telah memanfaatkan teknologi canggih untuk menciptakan sistem pertanian intensif yang tidak hanya produktif tetapi juga ramah lingkungan. Sistem pertanian presisi menjadi inti dari pendekatan ini, memungkinkan petani memanfaatkan sumber daya secara efisien sambil mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Sistem pertanian presisi di Belanda didukung oleh teknologi seperti sensor dan perangkat lunak analitik. Sensor ini digunakan untuk memantau kondisi tanah, kelembapan, suhu, dan kebutuhan tanaman secara real-time. Informasi ini memungkinkan petani untuk memberikan air, pupuk, dan pestisida dalam jumlah yang sesuai, sehingga mengurangi penggunaan bahan kimia secara signifikan.

Belanda juga mengadopsi prinsip ekonomi sirkular dalam sistem pertaniannya. Limbah pertanian, seperti sisa tanaman dan kotoran hewan, diolah menjadi kompos atau bioenergi. Pendekatan ini tidak hanya membantu mengurangi limbah tetapi juga menghasilkan energi terbarukan yang dapat digunakan untuk kebutuhan pertanian atau

masyarakat sekitar. Prinsip sirkular ini membantu mengurangi jejak karbon, menjadikan pertanian Belanda lebih ramah lingkungan. Keberhasilan Belanda dalam pertanian juga dipengaruhi oleh kebijakan pemerintah yang mendukung penelitian dan inovasi. Program kolaboratif antara pemerintah, universitas, dan sektor swasta menciptakan ekosistem yang mendorong pengembangan teknologi baru. Kebijakan subsidi dan insentif untuk petani yang beralih ke praktik berkelanjutan juga berperan penting dalam keberhasilan ini.

Hasil dari inisiatif-inisiatif ini sangat mengesankan. Belanda menjadi salah satu eksportir produk pertanian terbesar di dunia, meskipun luas lahannya kecil. Negara ini dikenal sebagai produsen utama bunga, tomat, paprika, dan produk hortikultura lainnya. Dengan pendekatan berkelanjutan, Belanda mampu menjaga keseimbangan antara produktivitas tinggi dan pelestarian lingkungan. Keberhasilan Belanda memberikan pelajaran penting bagi negara lain yang menghadapi tantangan serupa. Sistem pertanian yang mengutamakan teknologi, efisiensi sumber daya, dan prinsip sirkular dapat diadaptasi sesuai dengan kondisi lokal. Hal ini menunjukkan bahwa keberlanjutan tidak harus mengorbankan produktivitas, melainkan dapat berjalan seiring untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih tangguh.

2. Pertanian Berkelanjutan di Prancis: Agroekologi dan Produksi Organik

Prancis menjadi salah satu negara Eropa terdepan dalam mengimplementasikan pertanian berkelanjutan dengan fokus utama pada agroekologi dan pertanian organik. Upaya ini didorong oleh kebijakan pemerintah yang proaktif, termasuk strategi untuk memperluas lahan pertanian organik secara signifikan. Melalui langkah-langkah ini, Prancis tidak hanya menempatkan keberlanjutan sebagai prioritas, tetapi juga menjadikannya sebagai bagian integral dari pembangunan sektor pertanian. Program Agroekologi Nasional yang diperkenalkan pada tahun 2012 menjadi tonggak utama dalam perjalanan Prancis menuju pertanian berkelanjutan. Program ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya, melestarikan tanah, dan melindungi biodiversitas. Pemerintah memberikan insentif kepada petani untuk mengadopsi praktik agroekologi, termasuk rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan integrasi biodiversitas ke dalam sistem pertanian.

Kebijakan ini berhasil memperluas lahan pertanian organik hampir dua kali lipat dalam satu dekade.

Pendekatan agroekologi di Prancis juga bertujuan meningkatkan ketahanan sistem pertanian terhadap perubahan iklim. Dengan cuaca ekstrem yang semakin sering terjadi, agroekologi membantu petani menghadapi tantangan seperti kekeringan atau banjir. Pendekatan ini mengurangi ketergantungan pada input eksternal seperti pestisida dan pupuk kimia, yang sering kali merugikan lingkungan. Selain itu, agroekologi memanfaatkan diversifikasi tanaman untuk mendukung stabilitas ekosistem dan meningkatkan produktivitas. Pemerintah Prancis juga memberikan perhatian besar pada pendidikan dan pelatihan petani sebagai bagian dari strategi agroekologi. Petani didorong untuk belajar metode baru yang berkelanjutan melalui program pelatihan dan kemitraan dengan institusi riset. Pelatihan ini membantu petani memahami manfaat agroekologi, baik secara ekonomi maupun ekologis, sehingga memfasilitasi transisi yang lebih mudah ke praktik berkelanjutan.

Perkembangan sektor pertanian organik di Prancis menjadi salah satu hasil nyata dari pendekatan ini. Produk organik, yang populer di kalangan konsumen domestik maupun internasional, membantu meningkatkan nilai ekonomi sektor pertanian. Pada saat yang sama, penggunaan teknik agroekologi juga memperbaiki kualitas tanah dan air, menjadikan sistem pertanian Prancis lebih ramah lingkungan. Kesuksesan Prancis dalam agroekologi juga menarik perhatian global. Dengan adopsi yang terus meningkat, negara ini menjadi model bagi negara lain dalam mengembangkan kebijakan pertanian berkelanjutan. Keberhasilan Prancis menunjukkan bahwa transformasi menuju pertanian yang ramah lingkungan dapat dilakukan tanpa mengorbankan produktivitas atau daya saing ekonomi.

3. Pertanian Berkelanjutan di Swedia: Energi Terbarukan dan Manajemen Air

Swedia telah menjadi salah satu negara pelopor dalam mengintegrasikan kebijakan energi terbarukan dan manajemen air yang efisien dalam sistem pertanian berkelanjutan. Pendekatan ini menekankan pentingnya pemanfaatan sumber daya secara bijaksana untuk mendukung produktivitas pertanian sambil mengurangi dampak lingkungan. Fokus utama pada bioenergi dan pengelolaan air yang

cermat telah menjadi bagian integral dari strategi pertanian berkelanjutan di Swedia. Salah satu langkah terkemuka adalah penerapan sistem bioenergi di banyak pertanian di Swedia. Limbah pertanian, seperti sisa tanaman dan kotoran ternak, dimanfaatkan untuk menghasilkan energi terbarukan melalui proses biodigester. Energi ini digunakan untuk berbagai kebutuhan, seperti menggerakkan peralatan pertanian atau memanaskan fasilitas pertanian. Dengan menggantikan energi fosil, sistem ini tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga menciptakan sirkulasi energi yang efisien di sektor pertanian.

Swedia sangat memperhatikan pengelolaan air, terutama karena kebutuhan irigasi yang tinggi selama musim panas yang pendek. Sistem irigasi canggih berbasis teknologi, seperti pengontrol kelembaban tanah dan sensor real-time, telah diterapkan untuk memastikan bahwa air digunakan secara efisien. Sistem ini membantu petani mengoptimalkan penggunaan air tanpa pemborosan, sehingga menjaga keberlanjutan sumber daya air. Selain itu, Swedia menerapkan kebijakan nasional yang mendukung praktik ramah lingkungan di sektor pertanian. Pemerintah memberikan insentif kepada petani yang mengadopsi teknologi energi terbarukan dan pengelolaan air. Kebijakan ini tidak hanya meningkatkan kesadaran tentang keberlanjutan tetapi juga mendorong transformasi sektor pertanian ke arah yang lebih hijau.

C. Keberlanjutan Pertanian di Kawasan Tropis

Pertanian di kawasan tropis memiliki tantangan dan peluang yang unik, terutama dalam konteks keberlanjutan. Kawasan ini meliputi banyak negara dengan iklim panas dan lembab, yang mendukung keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, tetapi juga menghadapi masalah yang terkait dengan perubahan iklim, degradasi tanah, dan keberlanjutan ekonomi pertanian. Keberlanjutan pertanian di kawasan tropis bergantung pada pengelolaan sumber daya alam secara bijaksana, penerapan teknologi yang ramah lingkungan, serta kebijakan yang mendukung keberlanjutan sosial dan ekonomi.

1. Keberlanjutan Pertanian di Ghana Agroekologi dan Penyuluhan kepada Petani

Ghana telah menunjukkan komitmen yang kuat dalam mengadopsi agroekologi sebagai strategi utama untuk keberlanjutan

pertanian, terutama di tengah tantangan perubahan iklim. Pendekatan ini melibatkan praktik-praktik ramah lingkungan seperti pengelolaan tanah yang efektif, penggunaan tanaman penutup tanah, dan minimalisasi ketergantungan pada bahan kimia sintetis. Agroekologi tidak hanya berfokus pada produktivitas tetapi juga mencakup perlindungan keanekaragaman hayati dan pengelolaan sumber daya alam secara bijaksana.

Program Agroecology for Africa, yang dimulai pada 2015, menjadi salah satu langkah signifikan Ghana dalam memperkenalkan petani kepada praktik pertanian berkelanjutan. Program ini memberikan pelatihan tentang pengelolaan tanah, konservasi air, dan diversifikasi tanaman, yang terbukti meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim. Sebuah laporan oleh FAO (2019) mengungkapkan bahwa pendekatan ini berhasil mengurangi kerugian hasil panen akibat kekeringan dan banjir. Dengan fokus pada metode yang adaptif, agroekologi juga membantu memperbaiki kesuburan tanah dalam jangka panjang.

Penyuluhan berperan kunci dalam implementasi agroekologi di Ghana. Petani diberikan pelatihan untuk mengurangi penggunaan pupuk kimia dan menggantinya dengan pupuk organik yang lebih aman bagi lingkungan. Pendekatan ini tidak hanya membantu menjaga ekosistem tetapi juga mengurangi biaya produksi bagi petani. Penyuluhan juga mencakup strategi diversifikasi tanaman yang bertujuan untuk meningkatkan hasil panen sekaligus melindungi tanah dari erosi. Peran koperasi petani di Ghana sangat penting dalam mendukung keberlanjutan pertanian. Koperasi ini tidak hanya memfasilitasi edukasi tetapi juga membuka akses petani ke pasar yang lebih besar, termasuk pasar internasional. Dengan menjembatani petani kecil dengan pembeli, koperasi memastikan bahwa produknya memiliki nilai jual yang lebih tinggi, meningkatkan pendapatan petani.

Koperasi sering mendukung pengolahan hasil pertanian, seperti memproduksi tepung dari ubi kayu atau mengolah kakao menjadi produk siap konsumsi. Pengolahan ini memberikan nilai tambah pada hasil pertanian, yang pada akhirnya meningkatkan pendapatan petani dan menciptakan lapangan kerja tambahan di pedesaan. Proses ini juga mengurangi limbah pertanian dengan memanfaatkan semua bagian tanaman. Keberhasilan pendekatan agroekologi di Ghana menjadi model penting bagi negara-negara berkembang lainnya, terutama di Afrika

Barat. Praktik-praktik ini menunjukkan bahwa keberlanjutan tidak harus mengorbankan produktivitas. Dengan mengedepankan pendidikan, inovasi lokal, dan dukungan komunitas, Ghana telah membangun sistem pertanian yang tidak hanya tangguh tetapi juga berkontribusi pada kesejahteraan petani.

2. Keberlanjutan Pertanian di Filipina: Pertanian Organik dan Ketahanan Pangan

Filipina menghadapi tantangan signifikan dalam mencapai keberlanjutan pertanian, terutama dalam memastikan ketahanan pangan di tengah kerentanannya terhadap bencana alam. Salah satu solusi utama yang diadopsi negara ini adalah mempromosikan pertanian organik, yang dianggap lebih tahan terhadap perubahan iklim dan memberikan manfaat lingkungan serta ekonomi bagi petani kecil. Inisiatif ini berfokus pada penggunaan sumber daya lokal yang berkelanjutan, pengurangan ketergantungan pada bahan kimia, dan perlindungan terhadap keanekaragaman hayati.

Sebagai langkah konkret, Filipina memberlakukan National Organic Agriculture Act pada tahun 2010, yang berfungsi sebagai kerangka kerja nasional untuk memperluas praktik pertanian organik. Program ini dirancang untuk meningkatkan lahan pertanian organik di negara tersebut sekaligus meningkatkan hasil panen secara berkelanjutan. Implementasi program ini telah menghasilkan peningkatan signifikan dalam produksi dan konsumsi produk organik. Petani mulai mengadopsi teknik seperti rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan integrasi ternak ke dalam sistem pertanian.

Pendekatan organik ini tidak hanya mendukung keberlanjutan tetapi juga memperkuat ketahanan pangan di Filipina. Sistem organik yang ramah lingkungan membantu memitigasi dampak bencana alam seperti banjir dan kekeringan, yang sering kali merusak tanah dan tanaman. Dengan memanfaatkan metode pertanian alami, seperti agroforestri dan sistem pertanian terpadu, petani dapat menjaga kesuburan tanah sambil mempertahankan produksi pangan yang stabil. Namun, pertanian organik di Filipina menghadapi tantangan signifikan, terutama terkait dukungan finansial dan infrastruktur. Petani kecil sering kesulitan mendapatkan akses ke kredit atau subsidi untuk mengadopsi metode organik. Selain itu, distribusi produk organik masih terkendala oleh kurangnya fasilitas penyimpanan dan logistik, yang menyebabkan

keterbatasan akses pasar. Harga produk organik yang tidak stabil juga menjadi hambatan, karena petani tidak selalu dapat bersaing di pasar lokal maupun internasional.

Pemerintah dan berbagai organisasi di Filipina telah mulai menangani kendala ini dengan memberikan pelatihan dan penyuluhan kepada petani tentang pengelolaan sumber daya dan strategi pemasaran. Selain itu, upaya untuk membangun pasar lokal yang mendukung produk organik, seperti bazar komunitas dan program pemasaran berbasis digital, semakin berkembang. Inisiatif ini bertujuan untuk memperluas jangkauan produk organik sekaligus meningkatkan pendapatan petani. Pentingnya keberlanjutan pertanian di Filipina juga tercermin dalam partisipasi aktif komunitas lokal. Koperasi petani dan organisasi berbasis komunitas berperan penting dalam mendukung petani kecil, dengan menyediakan pelatihan, akses ke input organik, serta peluang untuk menjual produk secara langsung ke konsumen. Dukungan ini membantu menciptakan ekosistem pertanian yang lebih inklusif dan berdaya saing.

3. Keberlanjutan Pertanian di Thailand: Teknologi dan Manajemen Air dalam Pertanian Berkelanjutan

Thailand, sebagai negara tropis di Asia Tenggara, telah menunjukkan komitmen yang kuat terhadap keberlanjutan pertanian dengan memanfaatkan teknologi modern dan manajemen air yang canggih. Tantangan utama yang dihadapi negara ini adalah perubahan pola cuaca akibat perubahan iklim, termasuk kekeringan berkepanjangan dan banjir musiman. Untuk mengatasi masalah ini, Thailand telah mengadopsi pendekatan berbasis teknologi untuk memastikan efisiensi dalam pengelolaan sumber daya alam, khususnya air. Salah satu inovasi utama yang diterapkan adalah sistem irigasi pintar yang menggunakan sensor tanah dan cuaca. Teknologi ini memungkinkan petani untuk memantau kelembapan tanah secara real-time dan mengatur jadwal penyiraman yang optimal berdasarkan kebutuhan spesifik tanaman. Dengan memanfaatkan data cuaca terkini, sistem ini juga dapat membantu petani menghindari pemborosan air, terutama selama musim kemarau yang panjang.

Efisiensi penggunaan air yang lebih baik tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi petani. Dengan mengurangi ketergantungan pada sumber daya air yang terbatas, petani dapat mengalokasikan biaya yang

lebih rendah untuk irigasi dan meningkatkan hasil panen. Selain itu, teknologi ini membantu meningkatkan ketahanan petani terhadap dampak cuaca ekstrem, seperti badai atau kekeringan, yang sering mengancam produktivitas pertanian di Thailand. Thailand juga aktif dalam mempromosikan teknologi ini melalui program penyuluhan dan pelatihan yang diselenggarakan oleh pemerintah dan organisasi nirlaba. Program ini bertujuan untuk meningkatkan kesadaran petani akan pentingnya manajemen air yang efisien dan memberikan dukungan teknis untuk adopsi teknologi irigasi pintar. Selain itu, insentif finansial, seperti subsidi pemerintah, juga diberikan untuk mendorong penggunaan teknologi ini di kalangan petani kecil.

Keberhasilan sistem irigasi pintar ini juga berkontribusi pada peningkatan produksi komoditas utama Thailand, seperti padi dan buah-buahan tropis. Dengan pengelolaan air yang lebih efisien, petani dapat meningkatkan hasil panen tanpa harus memperluas lahan, sehingga mengurangi tekanan pada ekosistem lokal. Langkah ini juga mendukung visi Thailand untuk menjadi pemimpin dalam pertanian berkelanjutan di kawasan Asia Tenggara. Selain inovasi teknologi, Thailand juga fokus pada pelestarian sumber daya air melalui pengelolaan ekosistem hulu dan hilir. Investasi dalam rehabilitasi lahan basah dan pembangunan waduk mikro telah membantu menjaga pasokan air bagi pertanian selama musim kering. Pendekatan holistik ini memastikan bahwa pengelolaan air tidak hanya berfokus pada ladang tetapi juga mencakup pelestarian lingkungan secara keseluruhan.

D. Program Internasional dan Keberlanjutan Pertanian

Keberlanjutan pertanian telah menjadi fokus utama di tingkat global, dengan berbagai program internasional yang bertujuan untuk memajukan praktik pertanian yang ramah lingkungan, mengurangi kemiskinan, dan meningkatkan ketahanan pangan. Banyak organisasi internasional telah merumuskan kebijakan dan program yang mendorong negara-negara berkembang dan maju untuk mengadopsi pendekatan pertanian berkelanjutan. Dalam konteks ini, program internasional berperan penting dalam menciptakan sistem pertanian yang dapat bertahan dalam jangka panjang, yang tidak hanya menguntungkan para petani, tetapi juga mendukung keberlanjutan ekosistem dan mitigasi perubahan iklim.

1. Program Pembangunan Pertanian Berkelanjutan di Afrika: FAO dan IFAD

Di Afrika, pertanian adalah tulang punggung ekonomi bagi sebagian besar penduduk, terutama di negara-negara Sub-Sahara. Dengan tantangan yang meliputi degradasi tanah, perubahan iklim, dan kemiskinan pedesaan, organisasi internasional seperti *Food and Agriculture Organization* (FAO) dan *International Fund for Agricultural Development* (IFAD) telah berperan penting dalam mempromosikan pembangunan pertanian berkelanjutan. Melalui program seperti *The African Development Bank's Agricultural Transformation Agenda* dan *The Comprehensive Africa Agriculture Development Programme* (CAADP), tujuan utama adalah meningkatkan ketahanan pangan, mengurangi kemiskinan, dan menjaga keberlanjutan lingkungan.

Salah satu program unggulan adalah *Sustainable Land Management* (SLM), yang diterapkan di banyak negara Sub-Sahara Afrika. Program ini mempromosikan teknik seperti konservasi tanah, rotasi tanaman, dan penggunaan teknologi ramah lingkungan. Menurut laporan FAO (2020), penerapan SLM telah menghasilkan dampak positif signifikan, termasuk pengurangan erosi tanah dan peningkatan hasil pertanian. Di Ethiopia, SLM telah berhasil meningkatkan kesuburan tanah dan ketahanan pangan di daerah yang sebelumnya terkena dampak erosi berat dan degradasi lahan.

Di Ethiopia, program SLM berfokus pada integrasi pendekatan teknologi dengan kearifan lokal. Pendekatan ini melibatkan penanaman tanaman penutup tanah untuk mengurangi erosi dan penggunaan sistem irigasi kecil untuk memaksimalkan efisiensi air. Hasilnya, petani lokal dapat mengatasi tantangan degradasi tanah dan meningkatkan hasil pertanian hingga 20%, sebuah pencapaian yang signifikan dalam konteks ketahanan pangan di kawasan tersebut. Selain FAO, IFAD juga mendukung berbagai inisiatif untuk memberdayakan petani kecil di Afrika. Salah satu contohnya adalah *Rural Enterprises Project* (REP) di Ghana. Program ini bertujuan untuk meningkatkan akses petani ke pasar yang lebih luas dan menyediakan teknologi untuk memaksimalkan produktivitas. Inisiatif ini juga menekankan pentingnya kapasitas lokal dalam menggunakan pupuk organik dan mengelola sumber daya alam dengan cara yang berkelanjutan, sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya.

Proyek IFAD di Ghana tidak hanya meningkatkan hasil pertanian tetapi juga membantu petani kecil menghadapi dampak perubahan iklim. Dengan penguatan kapasitas lokal, petani diberdayakan untuk mengadopsi praktik seperti rotasi tanaman dan penggunaan pupuk organik, yang secara langsung meningkatkan kesuburan tanah dan kualitas hasil panen. Pendekatan ini menciptakan keseimbangan antara produktivitas ekonomi dan pelestarian lingkungan. Program-program ini tidak hanya berdampak pada ketahanan pangan, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan kemiskinan pedesaan. Dengan akses yang lebih baik ke pasar, petani kecil dapat meningkatkan pendapatan, menciptakan lapangan kerja, dan mengurangi ketergantungan pada bantuan eksternal. Kombinasi pendekatan teknologi, pelatihan kapasitas, dan integrasi pasar menciptakan landasan bagi pembangunan pedesaan yang berkelanjutan.

2. Program Keberlanjutan Pertanian di Asia Tenggara: ASEAN dan ASEAN Sustainable Agriculture Initiative

Asia Tenggara telah menempatkan keberlanjutan pertanian sebagai prioritas utama dalam upaya meningkatkan ketahanan pangan dan melestarikan sumber daya alam. Salah satu inisiatif utama adalah *ASEAN Sustainable Agriculture Initiative*, yang dirancang untuk mempromosikan praktik pertanian ramah lingkungan, mengurangi dampak perubahan iklim, dan meningkatkan efisiensi dalam penggunaan sumber daya. Melalui kolaborasi regional, program ini menciptakan platform bagi negara-negara ASEAN untuk berbagi teknologi, pengetahuan, dan kebijakan yang mendukung keberlanjutan pertanian.

Di Indonesia, salah satu penerapan program keberlanjutan ini adalah *Sustainable Rice Intensification* (SRI), yang didukung oleh *International Rice Research Institute* (IRRI). SRI memperkenalkan metode pertanian padi yang lebih efisien, seperti penanaman jarak luas, pengairan intermiten, dan penggunaan pupuk organik. Hasilnya, petani dapat meningkatkan produktivitas lahan sambil mengurangi konsumsi air dan penggunaan pupuk kimia. Teknik ini tidak hanya meningkatkan hasil panen tetapi juga mengurangi emisi metana dari sawah, yang merupakan salah satu kontributor utama gas rumah kaca di sektor pertanian.

Thailand juga memberikan kontribusi signifikan terhadap pertanian berkelanjutan melalui program seperti The Royal Project

Foundation. Program ini bertujuan untuk mengalihkan petani dari budidaya tanaman yang merusak lingkungan, seperti opium, ke pertanian organik yang ramah lingkungan. Selain itu, program ini mendukung pengembangan kapasitas petani lokal melalui pelatihan tentang teknik pertanian organik dan manajemen sumber daya alam yang lebih baik. Dengan pendekatan ini, petani tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan kimia tetapi juga meningkatkan pendapatan melalui akses ke pasar produk organik premium.

Program-program keberlanjutan ASEAN tidak hanya terbatas pada pengurangan bahan kimia dan emisi. Di Filipina, praktik agroforestri, yang mengintegrasikan pohon ke dalam sistem pertanian, telah diadopsi secara luas. Teknik ini membantu melindungi tanah dari erosi, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan menyediakan sumber pendapatan tambahan bagi petani melalui hasil panen kayu atau buah-buahan. Agroforestri menjadi contoh bagaimana pertanian berkelanjutan dapat mengatasi tantangan lingkungan sambil tetap memberikan manfaat ekonomi.

Kolaborasi dalam kerangka ASEAN juga mencakup pengembangan kebijakan regional untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Misalnya, ASEAN telah bekerja sama untuk menyelaraskan standar produk organik di seluruh kawasan, memungkinkan petani untuk mengakses pasar internasional dengan lebih mudah. Langkah ini meningkatkan daya saing produk pertanian Asia Tenggara dan memberikan insentif bagi petani untuk beralih ke praktik yang lebih ramah lingkungan.

3. Program Perubahan Iklim dan Keberlanjutan Pertanian di Amerika Latin: Inisiatif oleh UNDP dan CIFOR

Di Amerika Latin, keberlanjutan pertanian menjadi perhatian utama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, seperti peningkatan suhu dan pola hujan yang tidak teratur. Wilayah ini sangat bergantung pada sektor pertanian, sehingga perubahan iklim dapat berdampak serius pada ketahanan pangan dan ekonomi masyarakat. Dalam konteks ini, program yang didukung oleh *United Nations Development Programme* (UNDP) dan *Center for International Forestry Research* (CIFOR) telah memberikan solusi inovatif untuk meningkatkan keberlanjutan pertanian sambil mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Salah satu program yang signifikan adalah *The Low Emissions Rural Development* (LEDR) di Brasil. Program ini dirancang untuk mengurangi emisi karbon dari sektor pertanian dengan mengadopsi teknologi berbasis agroforestri dan integrasi tanaman-ternak-hutan. Metode ini memungkinkan petani memanfaatkan lahan yang ada secara optimal tanpa membuka lahan baru, sehingga mencegah deforestasi. Agroforestri juga membantu meningkatkan keanekaragaman hayati dan menyerap karbon, yang mendukung target mitigasi perubahan iklim Brasil. Berdasarkan laporan LEDR, program ini telah menunjukkan keberhasilan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca sambil mempertahankan produktivitas pertanian.

Di Kolombia, UNDP bersama CIFOR telah meluncurkan proyek yang memadukan pelestarian hutan dan peningkatan hasil pertanian. Proyek ini mendorong petani untuk menerapkan teknik agroekologi, seperti rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan perlindungan kawasan hutan. Teknik ini tidak hanya membantu mengurangi deforestasi, tetapi juga meningkatkan kesuburan tanah dan hasil pertanian. Berdasarkan laporan UNDP tahun 2021, proyek ini telah meningkatkan pendapatan petani lokal di wilayah yang sebelumnya terancam oleh ekspansi pertanian yang tidak berkelanjutan.

Kombinasi teknologi modern dan pendekatan lokal yang diterapkan dalam proyek ini memberikan dampak ganda: meningkatkan ketahanan pangan dan melestarikan ekosistem. Salah satu aspek penting dari keberhasilan proyek ini adalah pelibatan masyarakat lokal dalam perencanaan dan implementasi. Pendekatan berbasis komunitas memungkinkan program disesuaikan dengan kebutuhan spesifik wilayah, sehingga hasilnya lebih efektif dan berkelanjutan. Namun, keberhasilan program-program ini juga menghadapi tantangan, seperti keterbatasan pendanaan, akses teknologi, dan edukasi petani. Untuk mengatasi kendala ini, UNDP dan CIFOR bekerja sama dengan pemerintah lokal dan sektor swasta untuk menyediakan dukungan finansial dan teknologi. Pendekatan kolaboratif ini memastikan bahwa program dapat berjalan secara berkelanjutan dan melibatkan lebih banyak petani.

E. Pembelajaran dari Keberhasilan dan Kegagalan

Keberlanjutan pertanian merupakan tantangan besar bagi banyak negara, baik yang maju maupun berkembang. Meskipun ada sejumlah besar program dan kebijakan internasional yang mendukung pertanian berkelanjutan, tidak semua usaha tersebut berhasil mencapai tujuannya. Beberapa inisiatif mengalami kegagalan karena berbagai faktor, termasuk ketidakmampuan untuk mengadaptasi perubahan iklim, masalah kebijakan, dan keterbatasan sumber daya. Di sisi lain, ada juga banyak keberhasilan yang memberikan pelajaran berharga tentang bagaimana keberlanjutan dapat dicapai.

1. Keberhasilan dalam Keberlanjutan Pertanian

a. Program *Sustainable Intensification* di Sub-Sahara Afrika

Program Sustainable Intensification (SI) yang diterapkan di Sub-Sahara Afrika, khususnya di Ghana dan Malawi, menunjukkan bagaimana keberlanjutan pertanian dapat dicapai melalui pendekatan berbasis ilmu pengetahuan yang menggabungkan teknologi pertanian, pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, dan pemberdayaan petani. Program ini bertujuan untuk meningkatkan hasil pertanian tanpa merusak lingkungan, dan telah menunjukkan hasil yang menggembirakan dalam beberapa tahun terakhir. Di Ghana, misalnya, implementasi teknik pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan berhasil meningkatkan hasil tanaman hingga 30%. Ini menunjukkan bahwa dengan penerapan teknologi yang tepat dan pengelolaan sumber daya yang bijak, produksi pangan dapat ditingkatkan secara signifikan.

Kunci keberhasilan program SI di Ghana dan Malawi terletak pada penerapan teknik-teknik pertanian berkelanjutan yang melibatkan rotasi tanaman, penggunaan bibit unggul, dan pemupukan yang lebih efisien. Teknik-teknik ini tidak hanya meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga mengurangi ketergantungan petani terhadap input kimiawi yang dapat merusak tanah dan lingkungan. Partisipasi aktif petani dalam perencanaan dan implementasi program ini juga merupakan faktor penting dalam keberhasilan proyek. Dengan melibatkan petani sejak awal, program ini mampu mengatasi hambatan sosial

dan budaya yang sering kali menjadi kendala dalam adopsi teknologi baru.

b. Program Pengelolaan Air Berkelanjutan di India

Program WaterSmart Farms yang diluncurkan oleh International *Water Management Institute* (IWMI) di India merupakan contoh keberhasilan pengelolaan air berkelanjutan dalam pertanian, khususnya di daerah yang sering mengalami kekeringan, seperti Rajasthan. Program ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian melalui teknologi irigasi yang lebih hemat air serta pelatihan petani dalam pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Dalam implementasinya, petani diajarkan untuk menggunakan sistem irigasi tetes yang memungkinkan distribusi air yang lebih efisien dan terkontrol ke tanaman, sehingga mengurangi pemborosan air.

Di Rajasthan, program ini berhasil mengurangi penggunaan air untuk irigasi hingga 40% tanpa mengurangi hasil pertanian. Penggunaan sistem irigasi tetes ini sangat efektif dalam mengurangi pemborosan air yang sering terjadi dengan sistem irigasi tradisional, seperti irigasi permukaan. Keberhasilan ini tidak hanya berdampak pada penghematan sumber daya air, tetapi juga meningkatkan ketahanan pertanian terhadap kondisi kekeringan yang semakin sering terjadi akibat perubahan iklim. Selain itu, petani yang terlibat dalam program ini juga mendapatkan pelatihan mengenai teknik konservasi air lainnya, seperti pengumpulan air hujan dan penggunaan mulsa untuk mengurangi penguapan.

c. Pendekatan Agroekologi di Brasil

Pendekatan agroekologi di Brasil, yang dipelopori oleh Brazilian *Agricultural Research Corporation* (EMBRAPA), telah menghasilkan dampak yang signifikan terhadap keberlanjutan pertanian di negara ini. Agroekologi berfokus pada integrasi prinsip-prinsip ekologi dalam desain dan pengelolaan sistem pertanian. Pendekatan ini menggabungkan teknik-teknik pertanian organik, konservasi tanah, serta pengelolaan hutan untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu penerapan agroekologi yang paling sukses adalah di wilayah Amazon, di mana teknik agroforestri

digunakan untuk menggabungkan pohon dengan tanaman pangan, meningkatkan kesuburan tanah dan keberagaman hayati. Di wilayah Amazon, proyek agroekologi yang melibatkan masyarakat lokal telah memberikan dampak positif tidak hanya pada hasil pertanian, tetapi juga pada pelestarian lingkungan. Dengan menggunakan agroforestry, tanah yang sebelumnya terdegradasi berhasil dipulihkan, dan hasil tanaman meningkat. Program ini juga berperan penting dalam mengurangi laju deforestasi, karena masyarakat lokal yang terlibat dalam program ini lebih sadar akan pentingnya melestarikan hutan untuk mendukung kehidupan. Pendekatan ini memberikan contoh bagaimana pengelolaan lahan yang berbasis ekologi dapat meningkatkan ketahanan pangan sambil menjaga keberagaman hayati dan mencegah kerusakan lingkungan.

2. Kegagalan dalam Keberlanjutan Pertanian

a. Proyek Pertanian Berkelanjutan di Zambia

Proyek pertanian berkelanjutan yang dilaksanakan di Zambia pada awal 2000-an menunjukkan bahwa meskipun ada potensi besar untuk meningkatkan ketahanan pangan melalui pengembangan irigasi, berbagai faktor dapat menyebabkan kegagalan. Program yang didukung oleh World Bank dan FAO bertujuan untuk memperkenalkan sistem irigasi yang efisien di daerah-daerah kering, dengan harapan dapat meningkatkan hasil pertanian dan mengurangi ketergantungan pada curah hujan. Namun, meskipun tujuan yang mulia, proyek ini menghadapi berbagai hambatan yang membuatnya tidak berhasil mencapai tujuannya.

Salah satu penyebab utama kegagalan proyek ini adalah ketidakmampuan untuk memberikan pelatihan yang memadai kepada petani dalam mengelola dan memelihara sistem irigasi yang rumit. Banyak petani yang tidak terbiasa dengan teknologi baru ini, dan kesulitan dalam mengoperasikan sistem irigasi yang memerlukan pengetahuan teknis yang cukup tinggi. Selain itu, kekurangan pelatihan menyebabkan banyaknya sistem irigasi yang rusak atau tidak berfungsi dengan optimal, sehingga hasil pertanian tetap rendah meskipun telah ada investasi besar dalam infrastruktur tersebut.

b. Program Monokultur Jagung di Meksiko

Pada 1990-an, pemerintah Meksiko meluncurkan program yang mendorong petani untuk beralih ke monokultur jagung sebagai cara untuk meningkatkan produksi pangan dan mengurangi ketergantungan pada impor. Program ini bertujuan untuk meningkatkan hasil pertanian dan menyediakan pangan dalam jumlah yang lebih besar, tetapi dampaknya justru berbalik. Dengan mendorong petani untuk menanam jagung secara massal, kebijakan ini mengabaikan pentingnya keberagaman tanaman, yang merupakan elemen kunci dalam keberlanjutan pertanian (Altieri, 2018).

Monokultur jagung menyebabkan berbagai masalah lingkungan yang serius. Ketergantungan pada satu jenis tanaman membuat tanah semakin terdegradasi karena tidak ada rotasi tanaman yang dapat mengembalikan unsur hara tanah. Selain itu, monokultur meningkatkan kerentanannya terhadap serangan hama dan penyakit, yang dengan cepat dapat menyebar di seluruh area pertanian yang ditanami jagung. Hal ini berujung pada penggunaan pestisida yang lebih banyak, yang pada gilirannya merusak kualitas tanah dan mencemari sumber daya alam sekitar. Hasilnya, petani yang awalnya berharap dapat meningkatkan produksi pangan justru menghadapi penurunan hasil yang signifikan.

3. Pembelajaran dari Keberhasilan dan Kegagalan

a. Keterlibatan Petani dalam Proses Perencanaan

Keterlibatan petani dalam proses perencanaan dan implementasi proyek pertanian berkelanjutan sangat menentukan keberhasilan atau kegagalan program tersebut. Petani memiliki pengetahuan lokal yang sangat berharga tentang kondisi iklim, jenis tanah, dan tantangan yang dihadapi sehari-hari. Dengan melibatkannya sejak tahap perencanaan, proyek dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kenyataan lapangan, meningkatkan peluang keberhasilan jangka panjang.

Keterlibatan petani memberikan kesempatan untuk mengidentifikasi potensi hambatan yang mungkin timbul, baik dari sisi teknis maupun sosial. Dengan memahami kendala yang ada, seperti ketidaksesuaian teknologi atau kurangnya akses ke

pasar, program dapat melakukan penyesuaian yang diperlukan. Hal ini juga memperkuat rasa memiliki dan tanggung jawab petani terhadap keberhasilan program, yang memotivasi untuk lebih proaktif dalam menjalankan praktek-praktek baru.

b. Pendekatan Terpadu

Pendekatan terpadu yang mempertimbangkan faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan adalah kunci keberhasilan dalam mencapai pertanian berkelanjutan. Program pertanian yang hanya fokus pada teknologi atau aspek teknis saja, tanpa memperhatikan kondisi sosial dan ekonomi lokal, sering kali menghadapi hambatan besar dalam implementasinya. Misalnya, teknologi irigasi canggih mungkin tidak akan efektif jika petani tidak memiliki akses ke sumber daya finansial atau pelatihan yang memadai untuk mengoperasikannya. Program pertanian berkelanjutan yang sukses harus melihat petani sebagai bagian dari ekosistem yang lebih luas, yang mencakup kondisi sosial, budaya, dan ekonomi setempat. Kegagalan untuk mempertimbangkan aspek-aspek ini sering kali membuat program menjadi tidak berkelanjutan dalam jangka panjang.

Salah satu contoh penting dari pendekatan terpadu yang sukses adalah program Sustainable Intensification (SI) di Ghana dan Malawi, yang tidak hanya mengimplementasikan teknologi pertanian baru, tetapi juga melibatkan pelatihan petani dan peningkatan kapasitas. Program ini tidak hanya mengajarkan teknik pertanian yang lebih efisien, tetapi juga melibatkan petani dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan. Dengan menyediakan dukungan dalam bentuk pelatihan dan akses ke teknologi yang relevan, serta memberikan pelatihan tentang cara mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan, program ini memastikan bahwa petani memiliki alat dan pengetahuan untuk beradaptasi dengan tantangan yang ada. Selain itu, dukungan kebijakan yang mengarah pada penguatan sektor pertanian juga penting untuk menciptakan lingkungan yang mendukung keberlanjutan.

c. Pengelolaan Sumber Daya Alam yang Berkelanjutan

Pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan merupakan elemen krusial dalam keberhasilan proyek pertanian berkelanjutan. Banyak proyek yang gagal karena mengabaikan

pentingnya konservasi sumber daya alam, baik itu tanah, air, maupun keanekaragaman hayati. Pertanian yang tidak memperhatikan kelestarian ekosistem lokal sering kali merusak struktur tanah, menyebabkan erosi, atau mengurangi kualitas air, yang pada akhirnya menurunkan produktivitas pertanian dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pengelolaan yang bijaksana dan berkelanjutan dari sumber daya alam sangat penting untuk mencapai hasil yang berkelanjutan dan tahan lama.

Salah satu contoh nyata dari kegagalan yang disebabkan oleh kurangnya perhatian terhadap keberagaman hayati adalah penggunaan monokultur dalam pertanian. Monokultur mengurangi keberagaman tanaman yang dapat menjaga keseimbangan ekosistem tanah dan mempengaruhi ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit. Ketika satu jenis tanaman ditanam secara massal dalam waktu yang lama, tanah menjadi lebih rentan terhadap penurunan kesuburan dan serangan organisme patogen. Oleh karena itu, penting untuk mempertahankan keberagaman tanaman dalam sistem pertanian sebagai salah satu cara untuk melestarikan kesehatan tanah dan meningkatkan ketahanan sistem pertanian terhadap gangguan eksternal.



BAB XI

KESIMPULAN

Keberlanjutan pertanian merupakan komponen integral dari pembangunan ekonomi global yang adil dan berkelanjutan. Buku ini telah membahas berbagai tantangan serta solusi yang dihadapi sektor pertanian di negara berkembang dan maju. Salah satu tantangan utama adalah menjaga keseimbangan antara peningkatan produksi dan pelestarian lingkungan. Praktik agrikultur konvensional sering menyebabkan degradasi tanah, penurunan kualitas udara, dan kerusakan ekosistem. Oleh karena itu, transisi menuju metode pertanian yang berkelanjutan menjadi sangat penting, dengan fokus pada pelestarian sumber daya alam.

Di negara-negara berkembang, tantangan berkelanjutan lebih berkelanjutan karena keterbatasan akses teknologi dan pengetahuan. Petani di Sub-Sahara Afrika dan Asia Tenggara sering menghadapi hambatan berupa infrastruktur dan pelatihan yang tidak memadai. Namun, teknologi seperti irigasi tetes, pemupukan efisien, dan penggunaan energi terbaru telah menunjukkan dampak positif. Contohnya, di beberapa wilayah di India dan Sub-Sahara Afrika, hasil panen tanpa meningkat merusak lingkungan, bahkan memperbaiki kualitas tanah dan udara.

Pendekatan agroekologi, seperti agroforestri dan rotasi tanaman, telah menghasilkan manfaat besar, terutama di Amerika Latin. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan hasil tetapi juga melestarikan keanekaragaman hayati dan mengurangi ketergantungan pada input eksternal. Partisipasi petani dalam perencanaan dan implementasi kebijakan sangatlah penting. Petani yang terlibat secara langsung cenderung lebih mampu mengadopsi teknologi baru serta beradaptasi dengan perubahan iklim dan pasar.

Pemberdayaan petani melalui pendidikan dan pelatihan adalah kunci menuju keinginan pertanian. Program-program pelatihan yang diselenggarakan oleh organisasi seperti FAO telah meningkatkan

kesadaran petani akan pentingnya keinginan. Meski demikian, tantangan akses pendidikan di daerah terpencil masih harus diatasi. Kebijakan internasional, seperti agenda pembangunan berkelanjutan PBB, menjadi pedoman penting dalam menghadapi tantangan global, termasuk perubahan iklim dan globalisasi pasar.

Peran koperasi dan organisasi petani juga sangat signifikan. Model koperasi yang sukses di berbagai wilayah, seperti Eropa dan Asia, membuktikan bahwa kolaborasi antarpetani dapat mempercepat penerapan teknologi baru dan meningkatkan daya saing. Selain itu, isu gender dan inklusi sosial juga perlu diperhatikan. Perempuan, yang berperan besar dalam produksi pangan, harus dilibatkan dalam pengambilan keputusan dan pelatihan keterampilan untuk mendukung kemiskinan ekonomi dan ketahanan pangan global.

Melibatkan budaya lokal dan tradisi pertanian yang ramah lingkungan juga sangat penting. Kearifan lokal, seperti rotasi tanaman dan konservasi tanah, dapat dikombinasikan dengan teknologi modern untuk mencapai keberlanjutan. Dengan pendekatan multidimensi yang melibatkan kebijakan mendukung, teknologi ramah lingkungan, pendidikan, dan peran koperasi, kita dapat menciptakan sistem pertanian yang memenuhi kebutuhan pangan global sekaligus menjaga keseimbangan sosial, ekonomi, dan lingkungan.



DAFTAR PUSTAKA

- Akanmu, A. O., Akol, A. M., Ndolo, D. O., Kutu, F. R., & Babalola, O. O. (2023). Agroecological techniques: Adoption of safe and sustainable agricultural practices among the smallholder farmers in Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1143061.
- Akkem, Y., Biswas, S. K., & Varanasi, A. (2023). Smart farming using artificial intelligence: A review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120, 105899.
- Altieri, M. A. (2018). *Agroecology: The Science Of Sustainable Agriculture, Second Edition*. CRC Press.
<https://books.google.co.id/books?id=vwTFDwAAQBAJ>
- Ayantunde, A. A., Duncan, A. J., Van Wijk, M. T., & Thorne, P. (2018). Role of herbivores in sustainable agriculture in Sub-Saharan Africa. *Animal*, 12(s2), s199–s209.
- Babel, M. S., & Turyatunga, E. (2015). Evaluation of climate change impacts and adaptation measures for maize cultivation in the western Uganda agro-ecological zone. *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 239–254.
- Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140, 104095.
- Barr, C. M., Resosudarmo, I. A. P., Dermawan, A., McCarthy, J., Moeliono, M., & Setiono, B. (2006). *Decentralization of Forest Administration in Indonesia: Implications for Forest Sustainability, Economic Development, and Community Livelihoods*. Center for International Forestry Research.
https://books.google.co.id/books?id=-bh1QmnPD_cC
- Basso, B., & Antle, J. (2020). Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nature Sustainability*, 3(4), 254–256.
- Bélanger, J., & Pilling, D. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. FAO;
- Bernstein, H., Crow, B., Johnson, H., & University, O. (1992). *Rural Livelihoods: Crises and Responses*. Oxford University Press.
https://books.google.co.id/books?id=5pLQH_N_yHoC
- Bezerra, L. P., Franco, F. S., Souza-Esquerdo, V. F., & Borsatto, R.

- (2019). Participatory construction in agroforestry systems in family farming: ways for the agroecological transition in Brazil. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(2), 180–200.
- Bhat, S. A., & Huang, N.-F. (2021). Big data and ai revolution in precision agriculture: Survey and challenges. *Ieee Access*, 9, 110209–110222.
- Bhattacharyya, R., Ghosh, B. N., Mishra, P. K., Mandal, B., Rao, C. S., Sarkar, D., Das, K., Anil, K. S., Lalitha, M., & Hati, K. M. (2015). Soil degradation in India: Challenges and potential solutions. *Sustainability*, 7(4), 3528–3570.
- Bilal, A. R., & Baig, M. M. A. (2019). Transformation of agriculture risk management: The new horizon of regulatory compliance in farm credits. *Agricultural Finance Review*, 79(1), 136–155.
- Brief. (2019). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016. *ISAAA Br*, 54, 3–13.
- Buu, B. C., Chan, C. Y., & Lang, N. T. (2021). Molecular breeding for improving heat stress tolerance in rice: recent progress and future perspectives. *Molecular Breeding for Rice Abiotic Stress Tolerance and Nutritional Quality*, 92–119.
- Cammarano, D., van Evert, F. K., & Kempenaar, C. (2023). *Precision Agriculture: Modelling*. Springer International Publishing. <https://books.google.co.id/books?id=D2CIEAAQBAJ>
- Campagnolla, C., Rametsteiner, E., & Gutierrez, D. (2019). Sustainable agriculture and food systems: Towards a Third Agricultural Revolution. *From Fome Zero to Zero Hunger*, 140.
- Campanhola, C., & Pandey, S. (2018). *Sustainable Food and Agriculture: An Integrated Approach*. Academic Press. <https://books.google.co.id/books?id=wOR8DwAAQBAJ>
- Casadei, S., Peppoloni, F., Ventura, F., Teodorescu, R., Dunea, D., & Petrescu, N. (2021). Application of smart irrigation systems for water conservation in Italian farms. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 26488–26499.
- Chourasiya, D., Sharma, M. P., Maheshwari, H. S., Ramesh, A., Sharma, S. K., & Adhya, T. K. (2017). Microbial diversity and soil health in tropical agroecosystems. *Advances in Soil Microbiology: Recent Trends and Future Prospects: Volume 2: Soil-Microbe-Plant Interaction*, 19–35.
- De Magalhães, M. M. (2014). Low-Carbon Agriculture in Brazil.

- International Centre for Trade and Sustainable Development (ICTSD): Geneva, Switzerland*, 28.
- Dias, T., Dukes, A., & Antunes, P. M. (2015). Accounting for soil biotic effects on soil health and crop productivity in the design of crop rotations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(3), 447–454.
- Dos Santos, T. B., Ribas, A. F., de Souza, S. G. H., Budzinski, I. G. F., & Domingues, D. S. (2022). Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. *Stresses*, 2(1), 113–135.
- Droppelmann, K. J., Snapp, S. S., & Waddington, S. R. (2017). Sustainable intensification options for smallholder maize-based farming systems in sub-Saharan Africa. *Food Security*, 9, 133–150.
- Dubois, O. (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk*.
- Dutta, G., & Goswami, P. (2020). Application of drone in agriculture: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 8(5), 181–187.
- Emadodin, I., Narita, D., & Bork, H. R. (2012). Soil degradation and agricultural sustainability: an overview from Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 14, 611–625.
- Emmerson, M., Morales, M. B., Oñate, J. J., Batary, P., Berendse, F., Liira, J., Aavik, T., Guerrero, I., Bommarco, R., & Eggers, S. (2016). How agricultural intensification affects biodiversity and ecosystem services. In *Advances in ecological research* (Vol. 55, pp. 43–97). Elsevier.
- Erokhin, V., & Gao, T. (2019). *Handbook of Research on Globalized Agricultural Trade and New Challenges for Food Security*. IGI Global. <https://books.google.co.id/books?id=faS8DwAAQBAJ>
- Fahad, S., Sonmez, O., Saud, S., Wang, D., Wu, C., Adnan, M., & Turan, V. (2021). *Sustainable Soil and Land Management and Climate Change*. CRC Press. <https://books.google.co.id/books?id=UDP-EAAAQBAJ>
- Florini, A., & Pauli, M. (2018). Collaborative governance for the sustainable development goals. *Asia & the Pacific Policy Studies*, 5(3), 583–598.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., & West, P. C. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342.

- Gama-Rodrigues, A. C., Müller, M. W., Gama-Rodrigues, E. F., & Mendes, F. A. T. (2021). Cacao-based agroforestry systems in the Atlantic Forest and Amazon Biomes: an ecoregional analysis of land use. *Agricultural Systems*, 194, 103270.
- Gamage, A., Gangahagedara, R., Gamage, J., Jayasinghe, N., Kodikara, N., Suraweera, P., & Merah, O. (2023). Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*, 1(1), 100005.
- García-Tejero, I. F., Durán-Zuazo, V. H., Muriel-Fernández, J. L., & Rodríguez-Pleguezuelo, C. R. (2011). *Water and Sustainable Agriculture*. Springer Netherlands. <https://books.google.co.id/books?id=n0XW5q63vf0C>
- Gliessman, S. R. (2021). *Package Price Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems, Third Edition*. CRC Press. <https://books.google.co.id/books?id=rYUfEAAAQBAJ>
- Gruère, G., Shigemitsu, M., & Crawford, S. (2020). *Agriculture and water policy changes: Stocktaking and alignment with OECD and G20 recommendations*.
- Gupta, V. P. (2020). Role of agroforestry in soil conservation and soil health management: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4S), 555–558.
- Hertel, T., Elouafi, I., Tanticharoen, M., & Ewert, F. (2023). Diversification for enhanced food systems resilience. In *Science and innovations for food systems transformation* (pp. 207–215). Springer International Publishing Cham.
- Hurni, H., Abate, S., Bantider, A., Debele, B., Ludi, E., Portner, B., Yitaferu, B., & Zeleke, G. (2010). *Land degradation and sustainable land management in the highlands of Ethiopia*.
- Hussain, S. (2019). *Climate Change and Agriculture*. IntechOpen. https://books.google.co.id/books?id=_pj8DwAAQBAJ
- IPCC. (2014). Climate change 2014 synthesis report. *IPCC: Geneva, Switzerland*, 1059–1072.
- Kader, M. A., Singha, A., Begum, M. A., Jewel, A., Khan, F. H., & Khan, N. I. (2019). Mulching as water-saving technique in dryland agriculture. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1–6.
- Kaenzig, R., & Piguet, E. (2013). Migration and climate change in Latin America and the Caribbean. *People on the Move in a Changing Climate: The Regional Impact of Environmental Change on*

Migration, 155–176.

- Kamlesh, R., Santosh, S., Sudhakar, P., & Sunita, A. (2024). Role of pesticides in biodiversity loss. *IJBB*, 6(1), 1–3.
- Kassam, A. H., Mkomwa, S., & Friedrich, T. (2016). *Conservation Agriculture for Africa: Building Resilient Farming Systems in a Changing Climate*. CABI.
<https://books.google.co.id/books?id=CfMsDgAAQBAJ>
- Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L. G., Henry, M., Isaacs, R., Klein, A.-M., Kremen, C., M'gonigle, L. K., & Rader, R. (2015). Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature Communications*, 6(1), 7414.
- Koo, J., & Gardeazábal Monsalve, A. (2021). *Harnessing Digital Technologies for Timely Decision-Making across Food, Water, and Land Systems-Proposal*.
- Kothari, A., Camill, P., & Brown, J. (2013). Conservation as if people also mattered: policy and practice of community-based conservation. In *Conservation and society* (Vol. 11, Issue 1, pp. 1–15). Medknow.
- Kumar, J., Pradhan, M., & Singh, N. (2018). Sustainable organic farming in Sikkim: An inclusive perspective. *Advances in Smart Grid and Renewable Energy: Proceedings of ETAEERE-2016*, 367–378.
- Kumar, M., Yadav, A. N., Saxena, R., Paul, D., & Tomar, R. S. (2021). Biodiversity of pesticides degrading microbial communities and their environmental impact. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 31, 101883.
- Kussul, N., Kolotii, A., Shelestov, A., Yailymov, B., & Lavreniuk, M. (2017). Land degradation estimation from global and national satellite based datasets within UN program. *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, 1, 383–386.
- Laflen, J. M., Lal, R., & El-Swaify, S. A. (2020). Soil erosion and a sustainable agriculture. In *Sustainable Agricultural Systems* (pp. 569–581). CRC Press.
- Lal, R. (2020). Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(5), 123A-124A.
- Lee, B. X., Kjaerulf, F., Turner, S., Cohen, L., Donnelly, P. D., Muggah,

- R., Davis, R., Realini, A., Kieselbach, B., & MacGregor, L. S. (2016). Transforming our world: implementing the 2030 agenda through sustainable development goal indicators. *Journal of Public Health Policy*, 37, 13–31.
- Li, X., Xu, S., Fuhrmann-Aoyagi, M. B., Yuan, S., Iwama, T., Kobayashi, M., & Miura, K. (2022). CRISPR/Cas9 technique for temperature, drought, and salinity stress responses. *Current Issues in Molecular Biology*, 44(6), 2664–2682.
- Lwoga, E. T., Ngulube, P., & Stilwell, C. (2010). Managing indigenous knowledge for sustainable agricultural development in developing countries: Knowledge management approaches in the social context. *The International Information & Library Review*, 42(3), 174–185.
- Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F., & Aliferis, K. A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of the Total Environment*, 795, 148625.
- Maddikunta, P. K. R., Hakak, S., Alazab, M., Bhattacharya, S., Gadekallu, T. R., Khan, W. Z., & Pham, Q.-V. (2021). Unmanned aerial vehicles in smart agriculture: Applications, requirements, and challenges. *IEEE Sensors Journal*, 21(16), 17608–17619.
- Mahmud, A. A., Raj, A., & Jhariya, M. K. (2021). Agroforestry systems in the tropics: A critical review. *Agricultural and Biological Research*, 37(1), 83–87.
- Mahmud, M. S. A., Abidin, M. S. Z., Emmanuel, A. A., & Hasan, H. S. (2020). Robotics and automation in agriculture: present and future applications. *Applications of Modelling and Simulation*, 4, 130–140.
- Mapila, M. (2011). Rural livelihoods and agricultural policy changes in Malawi. *Agricultural Innovations for Sustainable Development*, 3, 190–195.
- Martos, V., Ahmad, A., Cartujo, P., & Ordoñez, J. (2021). Ensuring agricultural sustainability through remote sensing in the era of agriculture 5.0. *Applied Sciences*, 11(13), 5911.
- Masseroni, D., Arbat, G., & de Lima, I. P. (2020). Managing and planning water resources for irrigation: Smart-irrigation systems for providing sustainable agriculture and maintaining ecosystem services. In *Water* (Vol. 12, Issue 1, p. 263). MDPI.

- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., & Gomis, M. I. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2(1), 2391.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., & Shukla, P. R. (2022). *Global Warming of 1.5 C: IPCC special report on impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels in context of strengthening response to climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge University Press.
- Mirani, A., Memon, M. S., Chohan, R., Wagan, A. A., & Qabulio, M. (2021). Machine learning in agriculture: A review. *LUME*, 10, 5.
- Mohammed, U. (2024). Impact of Subsidy Removal on Smallholder Livestock Farmers' Productivity in Nigeria. *Journal of Livestock Policy*, 3(2), 24–36.
- Montgomery, D. R. (2017). *Growing a Revolution: Bringing Our Soil Back to Life*. W. W. Norton.
<https://books.google.co.id/books?id=0R5DDQAAQBAJ>
- Morgan, R. P. C. (2020). Soil degradation and erosion as a result of agricultural practice. In *Geomorphology and soils* (pp. 379–395). Routledge.
- Mosier, A., Syers, J. K., & Freney, J. R. (2013). *Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment*. Island Press.
<https://books.google.co.id/books?id=dO0PbWN4vjUC>
- Moumen, Z., El Idrissi, N. E. A., Tvaronavičienė, M., & Lahrach, A. (2019). Water security and sustainable development. *Insights into Regional Development*, 1(4), 301–317.
- Narayan-Parker, D. (2002). *Empowerment and Poverty Reduction: A Sourcebook*. World Bank.
<https://books.google.co.id/books?id=MkDiPZO6ZX0C>
- Nations, F. A. O. U. (2018). *Climate Smart Agriculture: Building resilience to climate change*. Springer.
<https://books.google.co.id/books?id=3spfDwAAQBAJ>
- Nepali, P. B., Pyakurel, K. N., & Sharma, S. R. (2011). Scientific land reform in Nepal: Questions of equity and efficiency. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 315.

- Ngoma, H., Hamududu, B., Hangoma, P., Samboko, P., Hichaambwa, M., & Kabaghe, C. (2019). *Irrigation development for climate resilience in Zambia: the known knowns and known unknowns*.
- Nguyen, H. (2018). *Sustainable food systems: Concept and framework*.
- Nuro, A. (2021). *Emerging Contaminants*. IntechOpen. <https://books.google.co.id/books?id=-rwzEAAAQBAJ>
- Nyamwanza, A. M., & Kujinga, K. K. (2017). Climate change, sustainable water management and institutional adaptation in rural sub-Saharan Africa. *Environment, Development and Sustainability*, 19, 693–706.
- Oliver, M., Bishop, T., & Marchant, B. (2018). *Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection*. Taylor & Francis. <https://books.google.co.id/books?id=731zuAEACAAJ>
- Paracchini, M. L., Justes, E., Wezel, A., Zingari, P. C., Kahane, R., Masden, S., Scopel, E., Héraut, A., Bhérier-Breton, P., & Buckley, R. (2020). *Agroecological practices supporting food production and reducing food insecurity in developing countries*. Joint research Center, Commission Européenne.
- Patil, B., & Babus, V. S. (2018). Role of women in agriculture. *International Journal of Applied Research*, 4(12), 109–114.
- Pereira, L. S. (2017). Water, agriculture and food: challenges and issues. *Water Resources Management*, 31(10), 2985–2999.
- Plieninger, T., Muñoz-Rojas, J., Buck, L. E., & Scherr, S. J. (2020). Agroforestry for sustainable landscape management. *Sustainability Science*, 15(5), 1255–1266.
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., & Morris, C. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441–446.
- Pretty, J., & Bharucha, Z. P. (2018). *Sustainable intensification of agriculture: greening the world's food economy*. Routledge.
- Puntsagdorj, B., Orosoo, D., Huo, X., & Xia, X. (2021). Farmer's perception, agricultural subsidies, and adoption of sustainable agricultural practices: A case from Mongolia. *Sustainability*, 13(3), 1524.
- Quisumbing, A. R., Meinzen-Dick, R., Raney, T. L., Croppenstedt, A., Behrman, J. A., & Peterman, A. (2014). *Gender in Agriculture: Closing the Knowledge Gap*. Springer Netherlands.

<https://books.google.co.id/books?id=F13FBAAAQBAJ>

- Rao, E. P., Rakesh, V., & Ramesh, K. V. (2021). Big Data analytics and Artificial Intelligence methods for decision making in agriculture. *Indian J. Agron*, 66, 279–287.
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2), 1–8.
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., & Steduto, P. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46, 4–17.
- Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87.
- Rusinamhodzi, L. (2015). Crop rotations and residue management in conservation agriculture. *Conservation Agriculture*, 21–37.
- Sagarik, D. (2016). The role of microfinance in advancing smallholder agriculture. *Academic Fora for Multidisciplinary Studies*, 72–76.
- Schroth, G., da Fonseca, G. A. B., Harvey, C. A., Gascon, C., Vasconcelos, H. L., & Izac, A. M. N. (2013). *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Island Press. <https://books.google.co.id/books?id=lfmBO4XpfyUC>
- Seiber, J. N., Coats, J., Duke, S. O., & Gross, A. D. (2014). Biopesticides: state of the art and future opportunities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(48), 11613–11619.
- Serraj, R., Krishnan, L., & Pingali, P. (2019). Agriculture and food systems to 2050: a synthesis. *Agriculture & Food Systems To, 2050*, 3–45.
- Shahzad, A., Parveen, S., Sharma, S., Shaheen, A., Saeed, T., Yadav, V., Akhtar, R., Ahmad, Z., & Upadhyay, A. (2017). Plant tissue culture: applications in plant improvement and conservation. *Plant Biotechnology: Principles and Applications*, 37–72.
- Sharma, B., Molden, D., & Cook, S. (2015). *Water use efficiency in agriculture: Measurement, current situation and trends*.
- Sharma, N., & Singhvi, R. (2017). Effects of chemical fertilizers and pesticides on human health and environment: a review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 10(6), 675–680.
- Shinwari, Z. K., Jan, S. A., Nakashima, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K.

- (2020). Genetic engineering approaches to understanding drought tolerance in plants. *Plant Biotechnology Reports*, 14(2), 151–162.
- Shorrocks, V. M. (2017). *Conventional and Organic Farming: A Comprehensive Review through the Lens of Agricultural Science*. 5m Publishing Limited. <https://books.google.co.id/books?id=9iESEAAAQBAJ>
- Shukla, P. R., Skeg, J., Buendia, E. C., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., & Van Diemen, S. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.
- Singh, R. L., & Mondal, S. (2017). *Biotechnology for Sustainable Agriculture: Emerging Approaches and Strategies*. Woodhead Publishing. <https://books.google.co.id/books?id=8o6ZDgAAQBAJ>
- Singh, V. K., Solanki, P., Ghosh, A., & Pal, A. (2022). Solid waste management and policies toward sustainable agriculture. In *Handbook of solid waste management: sustainability through circular economy* (pp. 523–544). Springer.
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., Haberl, H., Harper, R., House, J., & Jafari, M. (2014). Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In *Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 811–922). Cambridge University Press.
- Smits, M. (2016). *Southeast Asian Energy Transitions: Between Modernity and Sustainability*. Taylor & Francis. <https://books.google.co.id/books?id=nP2qCwAAQBAJ>
- Somasundaram, J., Sinha, N. K., Dalal, R. C., Lal, R., Mohanty, M., Naorem, A. K., Hati, K. M., Chaudhary, R. S., Biswas, A. K., & Patra, A. K. (2020). No-till farming and conservation agriculture in South Asia—issues, challenges, prospects and benefits. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 39(3), 236–279.
- Sun, A. Y., & Scanlon, B. R. (2019). How can Big Data and machine learning benefit environment and water management: a survey of methods, applications, and future directions. *Environmental Research Letters*, 14(7), 73001.

- Sylvia, N., Rinaldi, W., Muslim, A., & Husin, H. (2022). Challenges and possibilities of implementing sustainable palm oil industry in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 969(1), 12011.
- Taylor, M. (2018). Climate-smart agriculture: what is it good for? *The Journal of Peasant Studies*, 45(1), 89–107.
- Thakur, K., Sharma, A., & Sharma, K. (2021). Management of agricultural insect pests with physical control methods. *The Pharma Innovation Journal*, 10(6), 306–314.
- Tilman, D., Socolow, R., Foley, J. A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., & Somerville, C. (2009). Beneficial biofuels—the food, energy, and environment trilemma. *Science*, 325(5938), 270–271.
- Tittonell, P., Piñeiro, G., Garibaldi, L. A., Dogliotti, S., Olff, H., & Jobbagy, E. G. (2020). Agroecology in large scale farming—A research agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 584605.
- Tranchina, M., Reubens, B., Frey, M., Mele, M., & Mantino, A. (2024). What challenges impede the adoption of agroforestry practices? A global perspective through a systematic literature review. *Agroforestry Systems*, 1–21.
- Tscharntke, T., Tylianakis, J. M., Rand, T. A., Didham, R. K., Fahrig, L., Batáry, P., Bengtsson, J., Clough, Y., Crist, T. O., & Dormann, C. F. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. *Biological Reviews*, 87(3), 661–685.
- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349.
- Velten, S., Jager, N. W., & Newig, J. (2021). Success of collaboration for sustainable agriculture: a case study meta-analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 1–23.
- Velusamy, P., Rajendran, S., Mahendran, R. K., Naseer, S., Shafiq, M., & Choi, J.-G. (2021). Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in precision agriculture: Applications and challenges. *Energies*, 15(1), 217.
- Verdouw, C., Wolfert, S., & Tekinerdogan, B. (2016). Internet of Things in agriculture. *CABI Reviews*, 2016, 1–12.
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. I. (2012). Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and*

- Resources*, 37(1), 195–222.
- Vincent, A., & Fleury, P. (2015). Development of organic farming for the protection of water quality: Local projects in France and their policy implications. *Land Use Policy*, 43, 197–206.
- Wang, X., Hua, F., Wang, L., Wilcove, D. S., & Yu, D. W. (2019). The biodiversity benefit of native forests and mixed-species plantations over monoculture plantations. *Diversity and Distributions*, 25(11), 1721–1735.
- Wezel, A., Brives, H., Casagrande, M., Clement, C., Dufour, A., & Vandenbroucke, P. (2016). Agroecology territories: places for sustainable agricultural and food systems and biodiversity conservation. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(2), 132–144.
- Wheeler, T., & Von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508–513.
- Willer, H., Meier, C., Schlatter, B., Dietemann, L., Kemper, L., & Trávníček, J. (2022). The World of Organic Agriculture 2022—Summary. *The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends*, 20–31.
- Wortmann-Kolundžija, E. (2019). *Empowering Smallholder Farmers through Farmer Organizations*.
- Yadav, A. N. (2021). *Soil Microbiomes for Sustainable Agriculture: Functional Annotation*. Springer International Publishing. <https://books.google.co.id/books?id=ZLo1EAAAQBAJ>
- Yulianto, K. (2016). Agroekologi: Model pertanian berkelanjutan masa depan. *Jurnal Tambora*, 1(3).
- Zingore, S., Mutegi, J., Agesa, B., Tamene, L., & Kihara, J. (2015). *Soil degradation in sub-Saharan Africa and crop production options for soil rehabilitation*.



GLOSARIUM

Air:	Cairan penting dalam siklus kehidupan yang digunakan untuk irigasi, menjaga kelembapan tanah, dan sebagai sumber utama pertumbuhan tanaman di pertanian.
Benih:	Materi dasar berupa biji atau bibit yang berkualitas baik, digunakan sebagai awal proses pertumbuhan tanaman pertanian
Hujan:	Proses alami curahan air dari atmosfer yang menjadi salah satu sumber irigasi utama dalam pertanian dan memengaruhi kesuburan tanah.
Lahan:	Area tanah yang disiapkan untuk kegiatan bercocok tanam, baik secara tradisional maupun modern, dan merupakan sumber utama produksi pangan.
Panen:	Tahapan akhir dalam proses pertanian di mana hasil tanaman, seperti padi, jagung, atau sayuran, dipetik untuk konsumsi atau dijual.
Pupuk:	Bahan organik atau anorganik yang ditambahkan ke tanah untuk meningkatkan kesuburan dan menyediakan nutrisi yang dibutuhkan tanaman.
Hama:	Organisme seperti serangga, tikus, atau jamur yang merusak tanaman dan menurunkan produktivitas hasil panen.
Sawah:	Lahan pertanian yang tergenang air, digunakan secara khusus untuk menanam padi, terutama di daerah tropis.

Padi:	Tanaman pokok yang menghasilkan beras, makanan utama bagi sebagian besar penduduk dunia, terutama di Asia.
Bibit:	Tunas kecil dari tanaman yang dipindahkan ke lahan tanam untuk tumbuh menjadi tanaman dewasa yang produktif.
Kotor:	Kondisi lingkungan atau tanah yang tercemar oleh sampah, bahan kimia, atau polusi yang dapat menghambat keberlanjutan pertanian.
Asap:	Polusi udara yang dihasilkan dari pembakaran hutan atau lahan, yang dapat merusak lingkungan dan mengganggu siklus pertanian.
Iklim:	Pola cuaca jangka panjang di suatu wilayah yang memengaruhi keberlanjutan pertanian, termasuk pola tanam dan hasil panen.
Tani:	Aktivitas yang dilakukan petani untuk mengolah tanah, menanam tanaman, dan merawatnya hingga siap panen.
Baja:	Logam kuat yang digunakan dalam pembuatan alat-alat pertanian seperti cangkul, traktor, dan peralatan lainnya.



INDEKS

B

big data, 75, 89, 90, 102

C

cloud, 102

D

distribusi, 13, 19, 22, 24, 30,
66, 98, 103, 128, 135, 136,
137, 145, 146, 162, 180, 188
domestik, 19, 31, 61, 112, 172,
177

E

ekonomi, 1, 3, 9, 10, 12, 15, 16,
17, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 28,
29, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 48,
50, 53, 59, 60, 61, 62, 63, 64,
66, 69, 70, 71, 73, 80, 82, 94,
105, 106, 113, 125, 126, 127,
131, 133, 134, 135, 140, 141,
142, 145, 146, 147, 148, 149,
153, 154, 155, 158, 159, 162,
164, 165, 169, 172, 173, 174,

175, 177, 178, 180, 181, 183,
184, 185, 191

ekspansi, 172, 173, 186

emisi, 11, 12, 14, 23, 24, 28,
61, 113, 120, 122, 123, 124,
128, 133, 144, 171, 178, 184,
185, 186

entitas, 153

etnis, 164

F

finansial, 42, 110, 111, 112,
113, 118, 122, 123, 129, 134,
137, 138, 159, 180, 182, 186,
191
fluktuasi, 16, 20, 21, 25, 29, 43,
71, 77, 78, 99, 100, 126, 157

G

genetika, 24, 74, 75, 85, 92, 93,
94, 95, 99, 101, 122
geografis, 56, 63
globalisasi, 141, 144

I

informasional, 76

infrastruktur, 13, 29, 41, 122,
123, 134, 135, 136, 169, 180,
189
inklusif, 20, 27, 154, 161, 162,
164, 181
inovatif, 24, 31, 32, 55, 62, 73,
101, 123, 165, 170, 171, 172,
185
integrasi, 25, 63, 73, 163, 176,
180, 183, 184, 186, 188
investasi, 34, 110, 122, 124,
139, 140, 156, 160, 161, 189

K

kolaborasi, 121, 124, 184
komoditas, 16, 19, 25, 42, 43,
150, 174, 182
komprehensif, 57, 129, 163
konkret, 168, 180
kredit, 40, 42, 43, 110, 138,
156, 159, 180

M

manajerial, 21, 156, 161
mikroorganisme, 38, 39, 47, 50,
52, 53, 54, 67, 77, 78, 79, 80,
81, 83, 84, 86, 87, 88, 93, 94,
115

, 79, 80, 81, 190,

192

N

negosiasi, 162

R

real-time, 12, 31, 73, 74, 75,
76, 90, 95, 96, 97, 102, 103,
104, 116, 143, 175, 178, 181
regulasi, 105, 108, 109, 113,
114, 115, 116, 117, 124, 125,
162, 172
revolusi, 90
robotika, 109

S

stabilitas, 16, 19, 26, 28, 29, 35,
86, 126, 177
sustainability, 197, 198, 200,
203, 204

T

tarif, 42, 142, 147
transformasi, 7, 171, 172, 177,
178
transparansi, 145, 146

V
varietas, 14, 24, 74, 76, 77, 78,
79, 83, 85, 94, 98, 99, 100,
101, 109, 111, 119, 121, 122,
126, 127, 129, 135, 168

BIOGRAFI PENULIS



Elfin Efendi, S.TP., M.P.

Lahir di Binjai Serbangan, 7 Juli 1970. Lulus S2 di Program Studi Teknologi Hasil Perkebunan Universitas Gadjah Mada Tahun 2000. Saat ini sebagai Dosen di Universitas Asahan Program Studi Agroteknologi.



Dr. Bayu Pratomo, S.S.T., M.P.

Lahir di Medan, 27 Januari 1988. Lulus S3 di Program Studi Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara pada Tahun 2021. Saat ini sebagai Dosen di Universitas Prima Indonesia pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Agro Teknologi.



Lutfi Henderlan Harahap, S.P., M.Agr.

Lahir di Medan, 15 April 1993. Lulus S2 di Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara tahun 2020. Saat ini sebagai dosen di Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia Medan pada Program Studi Agroteknologi FP.



Sheli Mustikasari Dewi, S.P., M.P.

Lahir di Tasikmalaya, 14 Oktober 1991. Lulus S2 di Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran tahun 2019. Saat ini sebagai Dosen di Universitas Sali Al-Aitaam pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Teknik dan mengajar mata kuliah pada bidang keilmuan Budidaya Tanaman diantaranya Botani, Fisiologi Tumbuhan, Ilmu dan Teknologi Benih, Produksi dan Pengolahan Benih, Pemuliaan Tanaman, Biokimia Tanaman, Ilmu Gulma dan Pengendaliannya.

KEBERLANJUTAN PERTANIAN

TANTANGAN DAN SOLUSI

Buku referensi “Keberlanjutan Pertanian: Tantangan dan Solusi” membahas berbagai isu krusial yang dihadapi sektor pertanian modern. Dalam konteks perubahan iklim global, degradasi lingkungan, dan kebutuhan pangan yang terus meningkat, buku referensi ini memberikan wawasan komprehensif untuk memahami kompleksitas tantangan sekaligus memberikan solusi praktis untuk masa depan pertanian yang lebih berkelanjutan. Melalui pendekatan berbasis kajian ilmiah dan pengalaman praktis, buku referensi ini membahas topik-topik penting seperti pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, adaptasi terhadap perubahan pola cuaca, inovasi teknologi pertanian, serta upaya pemberdayaan petani di tengah tekanan sosial-ekonomi.