

INOVASI PERTANIAN MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS DAN KEBERLANJUTAN

**Roosganda Elizabeth
Sutiharni
Sulis Dyah Candra
Muh. Ansar
Sitti Rosmalah**



GET PRESS INDONESIA

INOVASI PERTANIAN MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS DAN KEBERLANJUTAN

Penulis :

Roosganda Elizabeth
Sutiharni
Sulis Dyah Candra
Muh. Ansar
Sitti Rosmalah

ISBN :

Editor : Ari Yanto, M.Pd.

Penyunting : Yuliatr Novita M.Hum

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Agustus 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Inovasi Pertanian Meningkatkan Produktivitas Dan Keberlanjutan ini.

Buku Ini Membahas Pendahuluan : Inovasi Pertanian Meningkatkan Produktivitas dan Keberlanjutan, Dasar-dasar Pertanian Modern, Inovasi Teknologi Pertanian, Risiko Dan Keberlanjutan, Masa Depan Pertanian.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Agustus 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB 1 PENDAHULUAN: INOVASI PERTANIAN MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS DAN KEBERLANJUTAN	
1	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Pentingnya Sektor Pertanian dalam Kehidupan Manusia.....	6
1.3 Tantangan Utama yang Dihadapi Pertanian Modern	9
1.4 Peran Inovasi Mengatasi Tantangan Pertanian	13
1.5 Potensi dan Tantangan Implementasi Teknologi Baru di Sektor Pertanian	16
1.6 Peran Inovasi dalam Pertanian.....	17
1.6.1 Teknologi Pertanian Presisi	17
1.6.2 Penggunaan Varietas Tanaman Unggul	22
1.6.4 Penurunan Penggunaan Pestisida Kimia.....	25
1.6.5 Adaptasi terhadap Perubahan Iklim	25
1.6.6 Pertanian Vertikal.....	26
1.6.7 Biopestisida dan Pupuk Organik.....	31
1.6.8 Pengelolaan Air yang Efisien	35
1.6.9 Pertanian Berkelanjutan	38
1.6.10 Konservasi Air dan Manajemen Lahan	40
1.6.11 Digitalisasi dan <i>Internet of Things</i> (IoT)	41
1.6.12 Pendidikan dan Pelatihan Petani	42
1.7 Kesimpulan.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	47
BAB 2 DASAR-DASAR PERTANIAN MODERN	
51	
2.1 Pendahuluan.....	51
2.2 Sejarah Modernisasi Bidang Pertanian	56
2.3 Konsep Pertanian Modern.....	58
2.4 Ciri Pertanian Modern.....	60
2.5 Tinjauan Konsep Inovasi dan Inovasi Disruptif	61
2.6 Pembangunan Pertanian Modern	64
DAFTAR PUSTAKA.....	68

BAB 3 INOVASI TEKNOLOGI PERTANIAN.....	71
3.1 Pendahuluan	71
3.2 Prinsip Dasar	71
3.2.1 Pertanian Presisi (<i>Precision Farming</i>)	71
3.2.2 Robotika dan Otomatisasi dalam Pertanian.....	74
3.2.3 <i>Artificial Intelligence</i> (AI) dan <i>Internet of Things</i> (IoT).....	74
3.3 Agronomi Tanaman Pangan dan Hortikultura	77
3.3.1 Sistem Manajemen Pertanian Pintar	77
3.3.2 Sistem Hidroponik dan Aeroponik.....	78
3.3.3 Greenhouse Otomatis.....	78
3.3.4 Mesin Traktor dan Penanam.....	78
3.4 Pengelolaan Tanaman Perkebunan dan Kehutanan	79
3.4.1 Robot Penyiang Gulma	79
3.4.2 Robot Pemanen.....	79
3.4.3 Sistem Irigasi Pintar Berbasis IoT	79
3.4.4 Data Iklim Mikro Perkebunan	80
3.5 Genetika dan Bioteknologi.....	80
3.5.1 Pemuliaan Tanaman	80
3.5.2 Pengeditan Gen dengan CRISPR-Cas9.....	81
3.5.3 Kultur Jaringan dan Mikropropagasi Tanaman	81
3.5.4 Bahan Pangan Berbasis Kultur Sel.....	81
3.6 Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman	81
3.6.1 Teknologi Pengusir Hama.....	81
3.6.2 Agensia Hayati	82
3.6.3 Pendeteksi dan Pengendali Status OPT di Lapang ..	82
3.6.4 Interferensi RNA (RNAi).....	82
3.6.5 Pestisida Nano	83
3.7 Pengelolaan Sumberdaya Lahan	83
3.7.1 Teknologi Konservasi Air	83
3.7.2 Metode Prediktif Lahan Berbasis AI	83
3.7.3 Teknologi Pengelolaan Limbah Pertanian	84
3.8 Agribisnis dan Industri Pertanian.....	84
3.8.1 Sistem Manajemen Pertanian	84
3.8.2 Manajemen Rantai Pasok.....	84
3.9 Tantangan dan Masa Depan Inovasi Pertanian	85
DAFTAR PUSTAKA	88

BAB 4 PENGELOLAAN RISIKO DAN KEBERLANJUTAN...	93
4.1 Pendahuluan.....	93
4.2 Pengelolaan Risiko	94
4.2.1 Definisi dan Konsep Dasar	94
4.2.2 Langkah-langkah dalam Pengelolaan Risiko.....	95
4.2.3 Manfaat Pengelolaan Risiko	108
4.3 Keberlanjutan	119
4.3.1 Definisi dan Konsep Dasar	119
4.3.2 Praktik Keberlanjutan dalam Bisnis.....	120
4.3.3 Manfaat Keberlanjutan.....	120
4.4 Integrasi Pengelolaan Risiko dan Keberlanjutan	121
4.4.1 Kaitan antara Risiko dan Keberlanjutan	121
4.4.3 Contoh Kasus	121
4.5 Tantangan dan Solusi	122
4.5.1 Tantangan.....	122
4.5.2 Solusi.....	122
4.6 Kesimpulan.....	123
DAFTAR PUSTAKA.....	124
BAB 5 MASA DEPAN PERTANIAN.....	127
5.1 Pendahuluan.....	127
5.2 Perspektif Pengembangan Sektor Pertanian.....	128
5.3 Keberadaan Inovasi Digital dan Inovasi Pola Tanam	130
5.3.1 Pemanfaatan produk Bioscience.....	131
5.3.2 Mekanisasi Pertanian.....	132
5.3.3 Pemanfaatan <i>Information Communication Technology (ICT)</i>	133
5.4 Tantangan Masa Depan Pertanian.....	136
5.4.1 <i>Teknoware</i>	137
5.4.2 <i>Humanware</i>	137
5.4.3 <i>Organoware</i>	137
5.4.4 <i>Infoware</i>	138
DAFTAR PUSTAKA.....	140
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Dampak Inovasi Teknologi pada Produktivitas Pertanian	5
Tabel 1.2. Dampak Inovasi pada Keberlanjutan Pertanian.....	5
Tabel 1.3. Contoh Implementasi Inovasi Pertanian di Berbagai Negara	6
Tabel 1.4. Produksi Pangan Global (Jutaan Ton).....	8
Tabel 1.5. Kontribusi Ekonomi Sektor Pertanian di Indonesia	8
Tabel 1.6. Dampak Perubahan Iklim pada Hasil Pertanian di Berbagai Wilayah.....	11
Tabel 1.7. Dampak Degradasi Lahan pada Produktivitas Pertanian.....	12
Tabel 1.8. Tantangan Spesifik Pertanian di Berbagai Negara.....	13
Tabel 1.9. Contoh Kasus Sukses Implementasi Inovasi Pertanian	15
Tabel 1.10. Potensi dan Tantangan Implementasi Teknologi Baru di Pertanian.....	17
Tabel 1.11. Alat dan Teknologi dalam Pertanian Presisi.....	18
Tabel 1.12. Manfaat Pertanian Presisi bagi Petani.....	19
Tabel 1.13. Studi Kasus Implementasi Teknologi Presisi	21
Tabel 1.14. Contoh Tanaman Hasil Rekayasa Genetika	23
Tabel 1.15. Proses Pengembangan Varietas Unggul.....	23
Tabel 1.16. Proses Pengembangan Varietas Unggul.....	24
Tabel 1.17. Varietas Tahan Terhadap Perubahan Iklim	25
Tabel 1.18. Pengaruh Varietas Tahan Hama terhadap Penggunaan Pestisida	25
Tabel 1.19. Varietas Padi Tahan Iklim di Asia Tenggara	26
Tabel 1.20. Jenis-Jenis Pertanian Vertikal	27
Tabel 1.21. Manfaat dan Tantangan Pertanian Vertikal	28
Tabel 1.22. Studi Kasus Pertanian Vertikal	30
Tabel 1.23. Contoh Biopestisida dan Pupuk Organik.....	31
Tabel 1.24. Manfaat Biopestisida dan Pupuk Organik.....	32

Tabel 1.25. Studi Kasus Penggunaan Biopestisida dan Pupuk Organik34

Tabel 1.26. Teknik dan Teknologi Pengelolaan Air.....36

Tabel 1.27. Manfaat dan Tantangan Pengelolaan Air37

Tabel 1.28. Praktik-Praktik Berkelanjutan39

Tabel 1.29. Praktik-Praktik Berkelanjutan40

Tabel 3.1. Perbedaan antara pengelolaan pada pertanian tradisional dan pertanian presisi73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Aplikasi 6G-IoT dalam Pertanian 5.0	77
Gambar 3.2. Sistem pertanian cerdas IoT yang didukung AI	77
Gambar 5.1. Transformasi Pertanian 1.0 Menjadi 4.0	129
Gambar 5.2. Pertanian Presisi (<i>smart farming</i>) Dan Regenerasi Petani	131
Gambar 5.3. Contoh Penerapan IoT	134
Gambar 5.4. Penerapan IoT, Robot <i>Construction</i> , <i>Artificial Intelligence</i> untuk pengembangan AWR dan otomatisasi mekanisasi pertanian	134

BAB 1

PENDAHULUAN: INOVASI PERTANIAN MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS DAN KEBERLANJUTAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor vital yang menopang kehidupan manusia, baik dari segi pangan maupun ekonomi. Peran dan pentingnya Inovasi Pertanian dalam meningkatkan produktivitas, kesinambungan dan keberlanjutannya selalu menjadi kebutuhan krusial dan tren issue dalam menghadapi tantangan global terkait ketersediaan dan keberlanjutan pangan, SDA, lingkungan, dan ketahanan ekonomi. Untuk menghadapi kompleksitas ini, meningkatkan pengetahuan dan kemampuan petani menghadapi pesatnya pertumbuhan kebutuhan dan perkembangan teknologi merupakan kunci strategis dalam menanganinya. Namun, tantangan seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan peningkatan populasi terus menguji kapasitas sektor ini. Untuk mengatasi tantangan tersebut, inovasi pertanian menjadi kunci dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan.

Sebagai Pendahuluan dari beberapa bab buku ini akan membahas berbagai aspek strategis dalam mewujudkan konteks tersebut, dengan mengulas berbagai inovasi pertanian yang mampu meningkatkan produktivitas serta mendukung keberlanjutan lingkungan dan ekonomi. Dalam konteks ini, dijelaskan konsep inovasi pertanian dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan, strategi efektif, dan dampak positifnya terhadap pertumbuhan ekonomi sektor pertanian. Kesimpulan artikel memberikan strategi efektif sebagai saran kebijakan untuk mendukung inovasi pertanian dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan dan dampak positifnya terhadap pertumbuhan ekonomi sektor pertanian.

Kebaharuan tulisan ini seiring dengan tujuan utama yaitu untuk menyajikan gambaran holistik dan mendalam tentang potensi pertanian berkelanjutan, kondisi terkini pertanian global, serta mengeksplorasi berbagai aspek terkait pentingnya Inovasi Pertanian dalam meningkatkan produktivitas, kesinambungan dan keberlanjutannya, dimana signifikansinya lebih pada kontribusi terhadap pemahaman umum mengenai perlunya transformasi pertanian menuju keberlanjutan. Dengan merinci hasil-hasil penelitian terkini, dengan memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang tantangan dan peluang di dunia pertanian modern.

Pertanian, sebagai sektor vital dalam kehidupan manusia dan perekonomian global, terutama di Indonesia sebagai negara agraris, dalam beberapa dekade terakhir, mengalami signifikansi transformasi sebagai salah satu dampak anomali perubahan iklim, fluktuasi dan dinamika pergerakan tujuan kerja, kebutuhan jenis kemampuan SDM yang dibutuhkan pemilik/pelaku usaha/perusahaan, kompetensi SDM, dan perkembangan teknologi. Kondisi ini menciptakan tantangan baru yang memerlukan pendekatan inovatif, terutama dengan adanya kebutuhan untuk mencapai keberlanjutan dalam praktik pertanian.

Layaknya suatu artikel ilmiah, dengan metode penelitian kualitatif tulisan ini akan mengeksplorasi dan menginterpretasikan analisis literatur review terkini, untuk memberikan pandangan menyeluruh tentang praktik pertanian berkelanjutan dan dampaknya. Diharapkan dengan disintesisnya beberapa hasil dan pembahasan akan menjadi novelty yang menjadi keunikan tulisan ini, yang pemanfaatannya dapat sesuai dengan yang dibutuhkan para stake holders, pemangku kepentingan dan pembuat kebijakan dan keputusan program kebijakan nasional maupun swasta, peserta didik dan pendidik, pelaku riset, dan khalayak masyarakat luas dari berbagai disiplin ilmu dan usaha. Adapun riset gap dan permasalahan utama yang dihadapi pertanian saat ini melibatkan ketidakseimbangan antara peningkatan produksi pangan dan pelestarian lingkungan. Melalui literatur yang dikutip, dapat diidentifikasi bahwa penggunaan berbagai input yang berlebihan dan perubahan iklim telah memberikan tekanan ekstrem pada sistem pertanian konvensional.

Oleh karena itu, diperlukan solusi berkelanjutan untuk mengulas berbagai inovasi pertanian yang mampu meningkatkan produktivitas, mendukung keberlanjutan lingkungan dan ekonomi, serta menjaga ketahanan pangan dan keseimbangan ekologi. Novelty yang merupakan keunikan dari artikel ini terletak pada pendekatan holistiknya terhadap berbagai inovasi pertanian untuk berkelanjutan, yang menggabungkan berbagai aspek seperti dampak lingkungan, aspek ekonomi, dan implikasi sosial dengan memberikan wawasan baru dan pemahaman yang lebih mendalam. Hasil penelitian dalam artikel ini diharapkan memberikan wawasan mendalam tentang potensi dan inovasi berbagai inovasi pertanian yang mampu meningkatkan produktivitas serta mendukung keberlanjutan lingkungan dan ekonomi pertanian berkelanjutan dalam mengatasi tantangan pertanian modern. Pembahasan juga akan menggambarkan implikasi hasil penelitian terhadap teori dan praktik pertanian, serta mengeksplorasi peluang untuk penelitian lebih lanjut.

1. Menjelaskan Berbagai Inovasi dalam Pertanian

Inovasi dalam sektor pertanian adalah kunci untuk mengatasi tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan peningkatan permintaan pangan. Beberapa bentuk utama inovasi dalam pertanian adalah:

2. Teknologi Digital

Teknologi digital mencakup penggunaan perangkat lunak dan perangkat keras untuk meningkatkan efisiensi pertanian. Ini termasuk pertanian presisi, penggunaan sensor, drone, dan analisis data besar (big data). Oleh World Bank (2019). *Digital Agriculture: The Future of Agriculture*, dengan bahasan: Eksplorasi teknologi digital dalam pertanian dan potensinya. Dengan metoda: studi kasus dan analisis data, menyimpulkan bahwa: teknologi digital dapat meningkatkan efisiensi dan hasil panen. "Teknologi digital seperti drone dan sensor tanah dapat meningkatkan hasil panen hingga 20%" (World Bank, 2019).

3. Bioteknologi

Bioteknologi mencakup penggunaan teknologi genetika untuk mengembangkan tanaman yang lebih tahan terhadap hama dan penyakit, serta lebih efisien dalam penggunaan sumber daya. FAO (2018) membahas dampak bioteknologi terhadap keberlanjutan pertanian. Dengan metoda: tinjauan literatur dan analisis dampak, menyimpulkan Bioteknologi dapat membantu mengatasi tantangan perubahan iklim dan ketahanan pangan. "Tanaman yang direkayasa genetika dapat mengurangi penggunaan pestisida hingga 50%" (FAO, 2018).

4. Praktik Manajemen Inovatif

Praktik manajemen inovatif seperti pertanian organik, agroforestri, dan rotasi tanaman meningkatkan keberlanjutan dan kesehatan ekosistem pertanian. Oleh IFOAM (2017) yang membahas manfaat pertanian organik bagi lingkungan dan ekonomi. Dengan metoda analisis data global dan studi kasus, menyimpulkan bahwa pertanian organik meningkatkan biodiversitas dan kesehatan tanah. "Pertanian organik dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi emisi karbon" (IFOAM, 2017).

5. Menunjukkan Dampak Inovasi terhadap Produktivitas dan Keberlanjutan

Inovasi dalam pertanian memiliki dampak signifikan terhadap produktivitas dan keberlanjutan. Berikut adalah beberapa contoh dampak tersebut: (i) *Peningkatan Produktivitas*, Inovasi teknologi dapat meningkatkan hasil panen dan efisiensi penggunaan sumber daya. Dampak teknologi digital pada produktivitas pertanian, dibahas dengan metode analisis studi kasus, yang menyimpulkan bahwa penggunaan teknologi digital dapat meningkatkan hasil panen hingga 20%. "Pertanian presisi meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk, yang berujung pada peningkatan hasil panen" (World Bank, 2019).

Tabel 1.1. Dampak Inovasi Teknologi pada Produktivitas Pertanian

Inovasi Teknologi	Dampak Utama	Peningkatan Hasil Panen
Pertanian Presisi	Efisiensi penggunaan air dan pupuk	Hingga 20%
Bioteknologi	Tahan terhadap hama dan penyakit	Hingga 25%

6. Keberlanjutan Lingkungan

Inovasi seperti bioteknologi dan praktik pertanian berkelanjutan membantu mengurangi dampak negatif pertanian pada lingkungan. Bioteknologi dapat mengurangi penggunaan pestisida dan meningkatkan kesehatan tanah. "Tanaman transgenik dapat mengurangi penggunaan pestisida hingga 50%, meningkatkan keberlanjutan pertanian" (FAO, 2018).

Tabel 1.2. Dampak Inovasi pada Keberlanjutan Pertanian

Inovasi	Dampak Utama	Peningkatan Keberlanjutan
Bioteknologi	Pengurangan penggunaan pestisida	Hingga 50%
Pertanian Organik	Peningkatan kesuburan tanah	Signifikan

7. Memberikan Contoh Implementasi Inovasi di Berbagai Tempat

Berbagai negara telah berhasil mengimplementasikan inovasi pertanian yang meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan. Belanda: Pertanian Presisi, telah memimpin dalam adopsi pertanian presisi, menggunakan teknologi canggih untuk memantau tanaman dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. "Dengan menggunakan teknologi pertanian presisi, Belanda berhasil meningkatkan hasil panen dan mengurangi

penggunaan sumber daya" (World Bank, 2019). Berikut beberapa contoh:

Tabel 1.3. Contoh Implementasi Inovasi Pertanian di Berbagai Negara

Negara	Inovasi	Dampak Utama	Peningkatan Produktivitas
Belanda	Pertanian Presisi	Peningkatan hasil panen	Hingga 30%
Brasil	Bioteknologi	Pengurangan penggunaan pestisida	Hingga 25%
India	Teknologi Digital	Peningkatan efisiensi penggunaan air	Hingga 20%

Sumber: World Bank, 2019; FAO, 2018

1.2 Pentingnya Sektor Pertanian dalam Kehidupan Manusia

Sektor pertanian memainkan peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Pertanian tidak hanya menyediakan makanan untuk konsumsi harian tetapi juga bahan baku untuk industri, lapangan pekerjaan, dan kontribusi signifikan terhadap ekonomi global dan ekonomi lokal.

1. Kontribusi Pertanian terhadap Ekonomi Global dan Lokal
Pertanian memainkan peran penting dalam ekonomi global dan lokal dengan memberikan kontribusi signifikan terhadap PDB, menyediakan lapangan kerja, dan menjadi sumber utama pangan dan bahan baku industri.
2. Kontribusi Ekonomi Global
Secara global, sektor pertanian memberikan kontribusi besar terhadap ekonomi dunia. Menurut FAO, pertanian dan sektor terkaitnya menyumbang sekitar 10% dari PDB global dan mempekerjakan sekitar 26% dari populasi dunia yang bekerja. Menurut Laporan FAO (2017), dalam: *"The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges"*, dengan metode analisis data global dan tren dalam produksi pangan dan pertanian,

mengeksplorasi tantangan dan peluang di sektor pertanian global. Laporan FAO ini menyimpulkan bahwa Pertanian adalah kunci untuk mengatasi tantangan global seperti ketahanan pangan, pengurangan kemiskinan, dan pembangunan berkelanjutan. Pertanian adalah tulang punggung dari banyak ekonomi dunia, memberikan mata pencaharian bagi lebih dari 1,5 miliar orang di seluruh dunia (FAO, 2017).

3. Kontribusi Ekonomi Lokal

Di banyak negara berkembang, pertanian adalah sektor utama yang mendukung ekonomi lokal. Misalnya, di Sub-Sahara Afrika, pertanian menyumbang lebih dari 20% dari PDB dan menyediakan lapangan kerja bagi lebih dari 60% populasi yang bekerja. Menurut World Bank (2020), dalam: *"Agricultural Sector in Africa: Status and Challenges"*, yang membahas kondisi dan tantangan sektor pertanian di Afrika, mengemukakan bahwa di Sub-Sahara Afrika, sektor pertanian adalah tulang punggung ekonomi lokal, dengan kontribusi signifikan terhadap PDB dan lapangan kerja. Dengan metoda: analisis data dan studi kasus di berbagai negara Afrika, disimpulkan bahwa pertanian memiliki peran penting dalam pembangunan ekonomi dan pengentasan kemiskinan di Afrika.

Data Statistik tentang Produksi Pangan dan Kontribusi Ekonomi

4. Produksi Pangan

Produksi pangan global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi. Produksi padi, gandum, dan jagung terus meningkat, mencerminkan upaya global dalam meningkatkan ketahanan pangan" (FAO, 2021). Menurut Laporan FAO tersebut, produksi padi, gandum, dan jagung — tiga tanaman pangan utama dunia — telah meningkat secara signifikan dalam dua dekade terakhir.

Tabel 1.4. Produksi Pangan Global (Jutaan Ton)

Tahun	Padi	Gandum	Jagung
2000	600	590	580
2010	700	670	720
2020	750	740	800

Sumber: FAO, 2021

5. Kontribusi Ekonomi

Pertanian juga memberikan kontribusi signifikan terhadap ekonomi banyak negara. Misalnya, di Indonesia, sektor pertanian menyumbang sekitar 13% dari PDB nasional dan memberikan lapangan kerja bagi lebih dari 30% populasi yang bekerja.

Tabel 1.5. Kontribusi Ekonomi Sektor Pertanian di Indonesia

Indikator	Nilai
Kontribusi terhadap PDB	13%
Lapangan Kerja	30%
Produksi Padi (Juta Ton)	54,6
Produksi Kelapa Sawit (Juta Ton)	42,5

Sumber: Badan Pusat Statistik Indonesia, 2022

Dikemukakan bahwasanya sektor pertanian adalah pilar penting dalam ekonomi Indonesia, menyumbang 13% dari PDB nasional dan memberikan lapangan kerja bagi lebih dari 30% populasi (BPS, 2022).

6. Produk Pertanian Esensial untuk Industri Makanan dan Non-Makanan

Pertanian menyediakan berbagai produk esensial yang digunakan dalam industri makanan dan non-makanan. Beberapa produk utama termasuk tanaman pangan, tanaman industri, dan bahan baku untuk bioenergi.

7. Tanaman Pangan

Tanaman pangan seperti padi, gandum, jagung, dan kentang adalah sumber utama kalori bagi populasi dunia. Padi adalah makanan pokok bagi lebih dari setengah populasi dunia, terutama di Asia. Tren dan kebijakan dalam produksi pangan

global yang dibahas Laporan IFPRI (2021) dalam *Global Food Policy Report*. Dengan metoda: Analisis data global tentang produksi dan konsumsi pangan, menyimpulkan bahwa tanaman pangan utama seperti padi, gandum, dan jagung adalah esensial untuk ketahanan pangan global.

8. Tanaman Industri

Tanaman industri seperti kapas, karet, dan kelapa sawit adalah bahan baku penting untuk berbagai industri termasuk tekstil, otomotif, dan kosmetik. Kelapa sawit, misalnya, adalah bahan baku. Oleh OECD-FAO (2020), dalam: *"Agricultural Outlook 2020-2029"*, membahas tentang prospek dan tren dalam produksi pertanian global, dengan menggunakan metoda analisis data dan proyeksi tren masa depan dalam sektor pertanian, disimpulkan bahwa: Tanaman industri memainkan peran penting dalam ekonomi global dan menyediakan bahan baku esensial untuk berbagai industri.

9. Bahan Baku Bioenergi

Pertanian juga menyediakan bahan baku untuk produksi bioenergi. Tanaman seperti jagung dan tebu digunakan untuk menghasilkan bioetanol, sedangkan minyak kelapa sawit digunakan untuk biodiesel. Oleh IEA (2021), dalam: *"Renewables 2021"*, yang membahas tentang tren dan prospek energi terbarukan, termasuk bioenergi, menyimpulkan bahwa: Bioenergi dari tanaman pertanian adalah bagian penting dari upaya global penggunaan energi terbarukan.

1.3 Tantangan Utama yang Dihadapi Pertanian Modern

1. Dampak Perubahan Iklim pada Hasil Pertanian dan Keamanan Pangan

Pertanian modern menghadapi berbagai tantangan yang semakin kompleks. Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi sektor pertanian saat ini. Pemanasan global, perubahan pola curah hujan, dan peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem telah berdampak signifikan pada hasil pertanian dan keamanan pangan. Beberapa tantangan utama termasuk perubahan iklim,

degradasi lahan, urbanisasi, dan meningkatnya permintaan pangan akibat pertumbuhan populasi. Berbagai literatur telah menyoroti kompleksitas perubahan ini, diantaranya dari sisi pentingnya pertanian berkelanjutan dalam menghadapi tekanan lingkungan, maupun yang mengidentifikasi/membahas dan mengkaji dampak perubahan iklim pada produksi pangan (Smith. 2010).

2. Dampak Perubahan Iklim

Menurut laporan IPCC (2019), dalam: *Climate Change and Land*, mengemukakan bahwa perubahan iklim diperkirakan akan mengurangi hasil panen di banyak daerah, dengan dampak terbesar di daerah tropis dan subtropis. Dengan metoda penilaian literatur ilmiah tentang perubahan iklim dan pengaruhnya terhadap penggunaan lahan, yang membahas hubungan antara perubahan iklim dan penggunaan lahan, termasuk dampaknya pada pertanian, menyimpulkan bahwa perubahan iklim memiliki dampak signifikan pada produktivitas pertanian dan keamanan pangan global. Perubahan iklim diperkirakan akan mengurangi hasil panen di banyak daerah, dengan dampak terbesar di daerah tropis dan subtropis (IPCC, 2019). Beberapa wilayah yang terkena dampak, seperti: 1. Afrika Sub-Sahara, dengan masalah: kekeringan berkepanjangan dan ketidakpastian curah hujan, yang berdampak: penurunan hasil panen jagung hingga 30% dan peningkatan kerawanan pangan; 2. Asia Selatan, dengan masalah: banjir dan kenaikan suhu, yang berdampak: penurunan produksi padi dan gandum, mempengaruhi jutaan petani kecil; 3. Amerika Latin, dengan masalah: perubahan pola hujan dan peningkatan kejadian El Niño, yang berdampak: penurunan hasil kopi dan kakao, mempengaruhi ekspor dan ekonomi lokal.

Tabel 1.6. Dampak Perubahan Iklim pada Hasil Pertanian di Berbagai Wilayah

Wilayah	Terdampak	Dampak Perubahan Iklim	Penurunan Hasil Panen
Afrika Sub-Sahara	Jagung	Kekeringan dan ketidakpastian hujan	Hingga 30%
Asia Selatan	Padi, Gandum	Banjir, kenaikan suhu	Hingga 20%
Amerika Latin	Kopi, Kakao	Perubahan pola hujan, El Niño	Hingga 25%

Sumber: IPCC, 2019

3. Degradasi Lahan: Deforestasi dan Erosi Tanah

Degradasi lahan merupakan masalah serius yang mengancam keberlanjutan pertanian. Deforestasi dan erosi tanah mengurangi kesuburan lahan dan kemampuan tanah untuk mendukung tanaman.

4. Deforestasi

Menurut FAO (2020), dalam: *Global Forest Resources Assessment 2020*, yang membahas tentang: penilaian sumber daya hutan global dan dampak deforestasi, dengan metoda: pengumpulan data dari berbagai negara dan analisis tren deforestasi, yang menyimpulkan bahwa: deforestasi mengurangi luas lahan subur dan meningkatkan emisi karbon. "Deforestasi menyebabkan hilangnya sekitar 10 juta hektar hutan setiap tahun, mengurangi lahan yang tersedia untuk pertanian" (FAO, 2020).

5. Erosi Tanah

Menurut Pimentel (2006), dalam: *Soil Erosion: A Food and Environmental Threat*, yang membahas tentang dampak erosi tanah pada produksi pangan dan lingkungan, dengan menggunakan metoda tinjauan literatur dan analisis data tentang erosi tanah, menyimpulkan bahwa erosi tanah mengurangi kesuburan lahan dan produktivitas pertanian. "Erosi tanah menyebabkan hilangnya lapisan tanah atas yang subur, mengurangi produktivitas lahan hingga 50% di beberapa daerah" (Pimentel, 2006).

Tabel 1.7. Dampak Degradasi Lahan pada Produktivitas Pertanian

Faktor Degradasi	Dampak Utama	Penurunan Produktivitas
Deforestasi	Hilangnya hutan, peningkatan erosi	Penurunan lahan subur
Erosi Tanah	Hilangnya lapisan tanah subur	Penurunan hasil hingga 50%

Sumber: FAO, 2020; Pimentel, 2006

6. Tantangan Spesifik di Berbagai Negara

Setiap negara menghadapi tantangan spesifik dalam sektor pertanian, yang dipengaruhi oleh kondisi geografis, iklim, dan kebijakan. Tahun 2050 diperkirakan perubahan iklim di India akan mengurangi produksi gandum hingga 20% " (ICAR, 2018). "Deforestasi di Amazon mencapai 7.900 km² pada tahun 2019, mempengaruhi ekosistem dan keberlanjutan pertanian" (IBGE, 2020). "Erosi tanah diperkirakan menyebabkan kerugian produksi sebesar 15% di Kenya" (KALRO, 2019). Misalnya: 1. India, dengan masalah: perubahan iklim pada sektor pertanian dengan fluktuasi suhu dan curah hujan tidak teratur, menyebabkan dampak: penurunan produksi gandum dan beras. Dengan metoda: Studi empiris dan analisis data cuaca, menyimpulkan bahwa perubahan iklim mengancam ketahanan pangan dan mata pencaharian petani; 2. Brasil, dengan masalah: dampak deforestasi: konversi hutan Amazon untuk lahan pertanian, berdampak: hilangnya keanekaragaman hayati dan peningkatan emisi karbon. Dengan metoda: pengumpulan data sensus pertanian, menyimpulkan bahwa deforestasi mengancam keberlanjutan pertanian di Brasil; 3. Kenya, dengan masalah: erosi tanah dengan curah hujan tinggi dan praktik pertanian yang buruk, menyebabkan penurunan kesuburan tanah dan hasil pertanian. Penelitian KALRO (2019) yang membahas masalah erosi tanah di Kenya dan strategi konservasi, dengan metoda: studi kasus dan analisis data lapangan, menyimpulkan bahwa erosi tanah mengurangi hasil pertanian dan mengancam ketahanan pangan.

Tabel 1.8. Tantangan Spesifik Pertanian di Berbagai Negara

Negara	Masalah Utama	Dampak	Penurunan Produktivitas
India	Perubahan Iklim	Penurunan produksi gandum	Hingga 20%
Brasil	Deforestasi	Hilangnya keanekaragaman hayati	-
Kenya	Erosi Tanah	Penurunan kesuburan tanah	Hingga 15%

Sumber: ICAR, 2018; IBGE, 2020; KALRO, 2019

Perubahan iklim dan degradasi lahan merupakan tantangan utama yang mengancam produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian. Implementasi praktik pertanian yang berkelanjutan dan adopsi teknologi inovatif sangat penting untuk mengatasi tantangan ini dan memastikan ketahanan pangan di masa depan.

1.4 Peran Inovasi Mengatasi Tantangan Pertanian Berbagai Bentuk Inovasi dalam Pertanian

Inovasi di sektor pertanian menjadi sangat penting untuk mengatasi berbagai tantangan tersebut. Inovasi dapat berupa teknologi baru, praktik manajemen yang lebih baik, dan pengembangan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Inovasi dalam pertanian sangat penting untuk mengatasi tantangan seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan peningkatan permintaan pangan. Beberapa bentuk inovasi utama meliputi: (i) teknologi digital, (ii) bioteknologi, dan (iii) praktik manajemen yang inovatif.

1. Teknologi Digital

"Teknologi digital dapat mengubah cara kita memproduksi dan mengelola pangan, meningkatkan produktivitas dan mengurangi dampak lingkungan" (World Bank, 2019). Teknologi digital, termasuk pertanian presisi dan penggunaan data besar (big data), telah merevolusi cara petani mengelola lahan mereka. Teknologi ini memungkinkan petani untuk memantau tanaman secara real-time, mengoptimalkan

penggunaan air dan pupuk, serta meningkatkan efisiensi produksi. Menurut World Bank (2019), dalam: *Digital Agriculture: The Future of Agriculture*, yang membahas peran teknologi digital dalam meningkatkan produktivitas pertanian. Dengan metoda: analisis studi kasus dan implementasi teknologi di berbagai negara, menyimpulkan bahwa teknologi digital memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. Menurut World Bank (2019), dalam: *Future of Food: Harnessing Digital Technologies to Improve Food System Outcomes*, buku yang membahas dan mengeksplorasi bagaimana teknologi digital dapat digunakan untuk meningkatkan sistem pangan global. Dengan metoda: analisis data dan studi kasus implementasi teknologi digital dalam pertanian, menyimpulkan bahwa: Teknologi digital, seperti pertanian presisi dan sensor IoT, dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. "Pertanian presisi dapat meningkatkan hasil panen hingga 20% dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya" (World Bank, 2019), misalnya: di India, penggunaan aplikasi mobile yang menyediakan informasi cuaca dan rekomendasi pertanian telah membantu petani meningkatkan hasil panen mereka.

2. Bioteknologi

Bioteknologi melibatkan penggunaan organisme hidup untuk mengembangkan atau membuat produk, seperti tanaman tahan hama dan penyakit. Ini termasuk teknik seperti rekayasa genetika dan penggunaan mikroorganisme untuk meningkatkan kesuburan tanah. Menurut FAO (2018), dalam: *Biotechnology for Sustainable Agriculture*, yang membahas peran bioteknologi dalam pertanian berkelanjutan. Dengan metoda: tinjauan literatur dan analisis dampak bioteknologi pada produksi pertanian, menyimpulkan bahwa: Bioteknologi dapat membantu mengatasi tantangan global seperti ketahanan pangan dan perubahan iklim. "Tanaman yang direkayasa secara genetis untuk tahan terhadap hama dapat mengurangi penggunaan pestisida hingga 50%" (FAO, 2018), misalnya: di Amerika Serikat, penggunaan tanaman transgenik telah mengurangi kerugian hasil panen akibat serangan hama.

3. Praktik Manajemen yang Inovatif

Praktik manajemen yang inovatif, seperti pertanian organik, agroforestri, dan rotasi tanaman meningkatkan keberlanjutan dan kesehatan ekosistem pertanian juga memainkan peran penting dalam mengatasi tantangan pertanian. Praktik ini meningkatkan keberlanjutan dan kesehatan ekosistem pertanian. Menurut IFOAM (2017), dalam: *The World of Organic Agriculture*, yang membahas manfaat dan perkembangan pertanian organik di seluruh dunia. Dengan metoda: analisis data global tentang pertanian organik dan dampaknya pada lingkungan, menyimpulkan bahwa pertanian organik meningkatkan keberlanjutan dan kesejahteraan petani kecil. "Pertanian organik meningkatkan biodiversitas tanah dan kesehatan ekosistem" (IFOAM, 2017), misalnya di Kenya, praktik agroforestri telah meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen petani kecil. Beberapa contoh kasus sukses dari berbagai negara, seperti: 1. Belanda: Pertanian Presisi. Belanda telah menjadi pemimpin dalam pertanian presisi, menggunakan teknologi seperti sensor tanah dan drone untuk memantau kesehatan tanaman dan kebutuhan air. "Dengan menggunakan teknologi pertanian presisi, Belanda telah berhasil meningkatkan produktivitas pertanian hingga 30%" (World Bank, 2019); 2. Brasil: Bioteknologi. Brasil telah mengadopsi bioteknologi secara luas, dengan mengembangkan tanaman transgenik yang tahan terhadap hama dan penyakit, sehingga mengurangi ketergantungan pada pestisida. "Aplikasi inovasi bioteknologi di Brasil telah mengurangi penggunaan pestisida sebesar 25%" (FAO, 2018).

Tabel 1.9. Contoh Kasus Sukses Implementasi Inovasi Pertanian

Negara	Inovasi	Dampak
Belanda	Pertanian Presisi	Peningkatan produktivitas 30%
Brasil	Bioteknologi	Pengurangan penggunaan pestisida 25%

Sumber: World Bank, 2019; FAO, 2018

1.5 Potensi dan Tantangan Implementasi Teknologi Baru di Sektor Pertanian

1. Potensi

- a. Peningkatan Produktivitas: Teknologi baru dapat meningkatkan hasil panen dan efisiensi penggunaan sumber daya. "Meningkatnya hasil panen hingga 20% dengan pemakaian teknologi digital" (World Bank, 2019).
- b. Keberlanjutan Lingkungan: Inovasi seperti bioteknologi dan praktik pertanian berkelanjutan dapat mengurangi dampak negatif pertanian pada lingkungan. Selain meningkatkan kesehatan ekosistem tanaman transgenik dapat mengurangi penggunaan pestisida (FAO, 2018).

2. Tantangan

- a. Biaya Implementasi: Teknologi baru sering kali mahal dan sulit diakses oleh petani kecil. Hambatan utama bagi petani kecil dalam mengadopsi inovasi pertanian adalah kurangnya akses dan tingginya biaya tinggi teknologi (World Bank, 2020). Bahasan World Bank (2020), dalam: Challenges in Implementing Agricultural Innovation, tentang tantangan yang dihadapi dalam mengadopsi teknologi baru di sektor pertanian, dengan metoda: studi kasus dan analisis data dari berbagai negara, menyimpulkan bahwa biaya tinggi dan kurangnya infrastruktur adalah hambatan utama dalam implementasi teknologi baru.
- b. Pelatihan dan Pengetahuan: Petani memerlukan pelatihan dan pengetahuan untuk mengoperasikan teknologi baru dengan efektif. "Kurangnya pelatihan dan pengetahuan teknis adalah tantangan utama dalam adopsi teknologi digital di sektor pertanian" (FAO, 2018).

Tabel 1.10. Potensi dan Tantangan Implementasi Teknologi Baru di Pertanian

Aspek	Potensi	Tantangan
Produktivitas	Peningkatan hasil panen hingga 20%	Biaya implementasi yang tinggi
Keberlanjutan Lingkungan	Pengurangan penggunaan pestisida	Kurangnya pelatihan dan pengetahuan
Keberlanjutan Ekonomi	Peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya	Akses terbatas bagi petani kecil

Sumber: World Bank, 2019; FAO, 2018

Inovasi dalam teknologi digital, bioteknologi, dan praktik manajemen yang inovatif memiliki potensi besar untuk mengatasi tantangan yang dihadapi sektor pertanian modern. Meskipun ada tantangan dalam implementasi, keberhasilan contoh kasus di berbagai negara menunjukkan bahwa adopsi inovasi pertanian dapat meningkatkan produktivitas, keberlanjutan, dan kesejahteraan petani.

1.6 Peran Inovasi dalam Pertanian

Inovasi dalam pertanian mencakup berbagai aspek, mulai dari teknologi presisi hingga varietas tanaman unggul, yang semuanya berperan penting dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan.

1.6.1 Teknologi Pertanian Presisi

Pertanian presisi adalah pendekatan manajemen pertanian yang menggunakan teknologi informasi dan berbagai alat untuk mengukur dan mengendalikan variabilitas dalam pertanian guna mengoptimalkan efisiensi dan produktivitas. Tujuannya adalah untuk meningkatkan hasil panen sambil meminimalkan input seperti pupuk, air, dan pestisida. Penggunaan teknologi presisi, dapat membantu petani mengoptimalkan penggunaan sumber daya, sementara pengembangan varietas tanaman unggul dapat meningkatkan ketahanan terhadap hama dan perubahan iklim. Pertanian presisi memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian, namun juga membutuhkan

kerangka kerja kebijakan yang mendukung. "Pertanian presisi memungkinkan petani untuk melakukan intervensi spesifik dengan akurasi yang tinggi, sehingga meningkatkan hasil panen dan efisiensi penggunaan input" (Kritikos, 2017). Teknologi presisi meningkatkan hasil panen dan efisiensi penggunaan air di pertanian jagung di Indonesia. "Penggunaan teknologi presisi dalam pertanian jagung di Indonesia menunjukkan peningkatan hasil panen dan efisiensi penggunaan air" (Hadi et al., 2023).

Pertanian presisi melibatkan penggunaan teknologi canggih seperti GPS, sensor, drone, dan data analitik untuk mengoptimalkan penggunaan input pertanian (air, pupuk, pestisida) sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi lahan. "Teknologi informasi dalam mengukur dan mengelola variabilitas di lahan pertanian, meningkatkan efisiensi dan hasil panen digunakan pertanian presisi" (World Bank, 2019). Pertanian presisi mengintegrasikan teknologi digital untuk mengoptimalkan produksi pertanian. Teknologi presisi memberikan manfaat signifikan dalam efisiensi penggunaan input dan peningkatan hasil panen. "Implementasi teknologi presisi di berbagai negara menunjukkan manfaat besar dalam efisiensi input dan hasil panen" (Miller & Smith, 2021). Dengan demikian, petani dapat meningkatkan hasil panen dan efisiensi penggunaan sumber daya, serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Konsep ini mencakup penggunaan alat dan teknologi untuk memantau dan mengelola faktor-faktor pertanian secara lebih akurat dan efisien.

Alat dan Teknologi yang Digunakan

Pertanian presisi menggunakan berbagai alat dan teknologi, termasuk:

1. GPS (Global Positioning System): Untuk memetakan lahan dan mengidentifikasi variabilitas dalam lahan. Fungsi: Memungkinkan penentuan lokasi yang sangat akurat untuk pemetaan lahan, penanaman, dan pengelolaan tanaman. Contoh Penggunaan: Penggunaan GPS untuk panduan dalam aplikasi pupuk dan pestisida;
2. Sensor: Untuk mengukur kondisi tanah, kelembaban, dan kesehatan tanaman. Fungsi: Mengumpulkan data real-time tentang kondisi tanah dan tanaman. Contoh Penggunaan: Sensor kelembaban tanah untuk irigasi yang lebih efisien.
3. Drone:

Untuk pemantauan lahan dari udara, mendeteksi masalah di tanaman. Fungsi: Memantau kondisi tanaman dan tanah dari udara, melakukan pemetaan dan survei. Contoh Penggunaan: Penggunaan drone untuk pemantauan kesehatan tanaman dan deteksi hama. 4. Data Analitik: Untuk menganalisis data yang dikumpulkan dan membuat keputusan berdasarkan data tersebut. Fungsi: Mengolah data yang dikumpulkan untuk menghasilkan wawasan dan rekomendasi. Contoh Penggunaan: Analisis data untuk menentukan kebutuhan nutrisi tanaman dan jadwal irigasi. Teknologi seperti GPS, sensor, dan drone memainkan peran kunci dalam pertanian presisi (FAO. 2020). "Pertanian presisi memanfaatkan teknologi seperti GPS, sensor, dan drone untuk mengelola variasi dalam tanaman dan tanah secara lebih akurat" (Zhang et al., 2022).

Tabel 1.11. Alat dan Teknologi dalam Pertanian Presisi

Teknologi	Fungsi	Contoh Penggunaan
GPS	Penentuan lokasi akurat	Panduan aplikasi pupuk dan pestisida
Sensor	Pengumpulan data real-time	Sensor kelembaban tanah
Drone	Pemantauan dan survei dari udara	Deteksi hama dan kesehatan tanaman
Data Analitik	Pengolahan data dan rekomendasi	Penentuan kebutuhan nutrisi tanaman

Implementasi dan Manfaat

Pertanian presisi telah diimplementasikan di berbagai negara dengan hasil yang sangat positif.

Tabel 1.12. Manfaat Pertanian Presisi bagi Petani

Manfaat	Dampak Utama
Efisiensi Penggunaan Input	Pengurangan penggunaan pupuk 20%
Peningkatan Hasil Panen	Peningkatan hasil panen hingga 15%

Contoh Implementasi/studi kasus-nya:

1. *Penggunaan Teknologi Presisi di Pertanian Jagung di Amerika Serikat.* Teknologi presisi telah diterapkan secara luas dalam pertanian jagung di Amerika Serikat. Petani jagung menggunakan GPS dan sensor untuk mengoptimalkan penggunaan air dan pupuk. Teknologi presisi telah diterapkan secara luas dalam pertanian jagung. Petani menggunakan GPS, sensor tanah, dan drone untuk mengelola lahan dan memantau tanaman secara real-time. Petani menggunakan GPS, sensor tanah, dan drone untuk mengelola lahan dan memantau tanaman secara real-time. Lahan jagung Amerika Serikat yang mengimplementasikan pertanian presisi dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 15%" (USDA, 2018). Pertanian presisi meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk di lahan jagung.
2. *Penggunaan drone untuk pemantauan lahan kedelai Brasil:* Petani kedelai menggunakan drone dan data analitik untuk memantau kesehatan tanaman dan mendeteksi penyakit lebih awal. "Penggunaan drone untuk pemantauan lahan kedelai di Brasil meningkatkan hasil panen hingga 20%" (Embrapa, 2019). Kesimpulan: Penggunaan drone dan data analitik meningkatkan hasil panen kedelai di Brasil.
3. *Dampak Penggunaan Sensor Tanah di Perkebunan Teh di India*
Di India, sensor tanah digunakan di perkebunan teh untuk mengukur kelembaban dan nutrisi tanah, sehingga memudahkan petani dalam mengelola irigasi dan pemupukan. Penggunaan sensor tanah meningkatkan efisiensi penggunaan air dan hasil panen. Sensor tanah di perkebunan teh India meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 30% dan hasil panen hingga 20% (ICAR, 2020).
4. *Belanda: Implementasi teknologi presisi dalam pertanian sayuran,* menggunakan sensor untuk mengatur sistem irigasi otomatis dan drone untuk pemantauan. Manfaat: Peningkatan efisiensi penggunaan air dan pupuk, serta hasil panen yang lebih tinggi.

5. Penggunaan Teknologi Presisi di Pertanian Jagung di Indonesia

Penggunaan teknologi presisi untuk memantau kondisi tanaman jagung menggunakan sensor kelembaban dan drone untuk pemetaan. Hasil: Peningkatan hasil panen sebesar 20% dan pengurangan penggunaan air sebesar 15%.

6. Dampak Penggunaan Sensor Tanah di Perkebunan Teh di Indonesia. Implementasi sensor tanah untuk memantau kelembaban dan kondisi tanah di perkebunan teh. Hasil: Peningkatan efisiensi penggunaan air dan pengurangan stres tanaman, serta hasil panen yang lebih konsisten.

Tabel 1.13. Studi Kasus Implementasi Teknologi Presisi

Negara	Tanaman	Teknologi Digunakan	Dampak Utama
Amerika Serikat	Jagung	GPS, sensor, drone	Peningkatan hasil panen 25%
Brasil	Kedelai	Drone	Peningkatan hasil panen $\geq 20\%$
India	Teh	Sensor tanah	Efisiensi penggunaan air 30%, hasil panen 20%
Belanda	sayuran	Sensor, drone	Efisiensi penggunaan air dan pupuk
Indonesia	Jagung	Sensor, drone	Peningkatan efisiensi penggunaan air dan pupuk, serta hasil panen yang lebih tinggi.
Indonesia	Teh	Sensor tanah	Peningkatan efisiensi penggunaan air dan kesehatan tanaman

Pertanian presisi adalah inovasi penting dalam sektor pertanian yang menggunakan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Dengan memanfaatkan GPS, sensor, drone, dan data analitik, petani dapat mengelola lahan

dan tanaman dengan lebih baik, mengurangi biaya, dan meningkatkan hasil panen. Studi kasus dari berbagai negara menunjukkan bahwa teknologi presisi memiliki dampak positif yang signifikan terhadap keberlanjutan dan efisiensi pertanian.

Manfaat bagi Petani

1. Efisiensi Penggunaan Input: Pertanian presisi memungkinkan penggunaan pupuk, air, dan pestisida secara lebih efisien, mengurangi biaya dan dampak lingkungan.
2. Peningkatan Hasil Panen: Dengan mengoptimalkan kondisi lahan dan tanaman, hasil panen dapat meningkat secara signifikan.

"Pertanian presisi dapat mengurangi penggunaan pupuk hingga 20% dan meningkatkan hasil panen hingga 15%" (World Bank, 2019). Pertanian presisi meningkatkan efisiensi penggunaan input dan hasil panen. Dampak penggunaan sensor tanah dalam pengelolaan perkebunan teh di Indonesia meningkatkan efisiensi penggunaan air dan kesehatan tanaman di perkebunan teh. "Penggunaan sensor tanah di perkebunan teh di Indonesia meningkatkan efisiensi penggunaan air dan kesehatan tanaman" (Utama et al., 2024).

1.6.2 Penggunaan Varietas Tanaman Unggul Rekayasa Genetika dan Seleksi Konvensional

Proses Pengembangan Varietas Unggul

Pengembangan varietas tanaman unggul dapat dilakukan melalui dua metode utama: rekayasa genetika dan seleksi konvensional.

1. *Rekayasa Genetika*: Ini melibatkan modifikasi langsung DNA tanaman untuk menghasilkan sifat yang diinginkan. Teknik ini memungkinkan pengenalan gen dari spesies yang berbeda untuk meningkatkan ketahanan terhadap hama, penyakit, atau kondisi lingkungan ekstrem.
2. *Seleksi Konvensional*: Ini melibatkan pemilihan tanaman dengan sifat yang diinginkan melalui pembiakan selektif selama beberapa generasi. Metode ini lebih tradisional dan sering memakan waktu lebih lama dibandingkan dengan rekayasa genetika. Kutipan: "Tanaman rekayasa genetika

telah menunjukkan peningkatan hasil panen dan ketahanan terhadap hama dan penyakit di berbagai negara" (James, 2017). Kesimpulan: Tanaman rekayasa genetika telah meningkatkan produksi pertanian di berbagai negara.

Beberapa contoh tanaman yang telah dikembangkan melalui rekayasa genetika meliputi: (i) Jagung Bt: Dilengkapi dengan gen dari bakteri *Bacillus thuringiensis* yang membuat tanaman tahan terhadap serangan ulat. (ii) Kedelai RR: Dilengkapi dengan gen tahan herbisida yang memungkinkan penggunaan herbisida tanpa merusak tanaman.

Tabel 1.14. Contoh Tanaman Hasil Rekayasa Genetika

Tanaman	Sifat Unggul	Sumber Gen
Jagung Bt	Tahan terhadap ulat	<i>Bacillus thuringiensis</i>
Kedelai RR	Tahan terhadap herbisida	<i>Agrobacterium</i> sp.

Perbandingan antara rekayasa genetika dan seleksi konvensional dalam pengembangan varietas unggul. Rekayasa genetika memberikan keuntungan dalam mencapai sifat spesifik yang sulit dicapai dengan seleksi konvensional. Rekayasa genetika memungkinkan pencapaian sifat tanaman yang lebih spesifik dan efisien dibandingkan dengan metode seleksi konvensional (Liu & Zhang, 2022).

Tabel 1.15. Proses Pengembangan Varietas Unggul

Metode	Proses	Keunggulan	Contoh Varietas
Seleksi Konvensional	Pemilihan, penyeberangan, evaluasi hasil	Meningkatkan ketahanan dan hasil panen	Padi, jagung
Rekayasa Genetika	Transfer gen, modifikasi genetik, pengujian	Mencapai sifat spesifik dan efisien	Padi BT, jagung transgenik

Tahan Hama dan Penyakit

Varietas yang Tahan terhadap Hama Spesifik

Pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap hama spesifik telah mengurangi kebutuhan akan penggunaan pestisida kimia, yang berdampak positif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Tanaman Bt efektif dalam mengurangi populasi hama tertentu tanpa penggunaan pestisida tambahan. Tanaman Bt telah terbukti efektif dalam mengendalikan populasi hama dan mengurangi penggunaan pestisida kimia (Shelton & Roush, 2016).

Tabel 1.16. Proses Pengembangan Varietas Unggul

Metode	Proses	Keunggulan	Contoh Varietas
Seleksi Konvensional	Pemilihan, penyeberangan, evaluasi hasil	Meningkatkan ketahanan dan hasil panen	Padi, jagung
Rekayasa Genetika	Transfer gen, modifikasi genetik, pengujian	Mencapai sifat spesifik dan efisien	Padi BT, jagung transgenik

Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim

Varietas Tahan Kekeringan dan Banjir

1. Padi Tahan Kekeringan (IR64): Varietas padi yang dikembangkan untuk bertahan dalam kondisi kekeringan. Manfaat: Mengurangi kerugian akibat kekurangan air dan meningkatkan ketahanan pangan.
2. Kedelai Tahan Banjir: Varietas kedelai yang tahan terhadap genangan air dan banjir. Manfaat: Menjamin hasil panen di area yang sering mengalami banjir.

Tabel 1.17. Varietas Tahan Terhadap Perubahan Iklim

Varietas	Kondisi yang Dihadapi	Manfaat Utama
Padi Tahan Kekeringan	Kekeringan	Mengurangi kerugian akibat kekurangan air
Kedelai Tahan Banjir	Genangan air dan banjir	Menjamin hasil panen di daerah banjir
Padi Inpara	Lahan basah dan kekeringan	Meningkatkan ketahanan padi terhadap perubahan iklim

Varietas tahan kekeringan dan banjir dapat meningkatkan ketahanan pangan di daerah rawan perubahan iklim. Varietas tanaman yang tahan kekeringan dan banjir memainkan peran penting dalam adaptasi terhadap perubahan iklim (Mulyadi et al., 2023).

1.6.4 Penurunan Penggunaan Pestisida Kimia

Dengan adanya varietas tahan hama, petani dapat mengurangi penggunaan pestisida kimia secara signifikan, yang berdampak pada pengurangan biaya dan risiko lingkungan.

Tabel 1.18. Pengaruh Varietas Tahan Hama terhadap Penggunaan Pestisida

Varietas	Pengurangan Penggunaan Pestisida
Jagung Bt	Hingga 70%
Kapas Bt	Hingga 60%

1.6.5 Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

Varietas Tahan Kekeringan dan Banjir

Perubahan iklim membawa tantangan baru bagi pertanian, seperti kekeringan dan banjir. Varietas tanaman yang tahan terhadap kondisi ekstrem ini menjadi sangat penting. Pengembangan varietas tahan iklim merupakan bagian penting dari

adaptasi pertanian terhadap perubahan iklim. Kunci keberlanjutan pertanian di bawah kondisi perubahan iklim adalah varietas tanaman tahan kekeringan dan banjir (FAO, 2020).

Contoh Varietas Padi di Asia Tenggara

Asia Tenggara telah mengembangkan beberapa varietas padi yang tahan terhadap kekeringan dan banjir untuk mengatasi tantangan perubahan iklim. Varietas padi tahan banjir berhasil meningkatkan produktivitas di wilayah rawan banjir. Varietas padi tahan banjir telah meningkatkan produksi padi di daerah.

Tabel 1.19. Varietas Padi Tahan Iklim di Asia Tenggara

Varietas	Ketahanan	Daerah Implementasi
Swarna-Sub1	Tahan banjir	India, Bangladesh
IR64-Sub1	Tahan kekeringan	Filipina, Vietnam

Penggunaan varietas tanaman unggul melalui rekayasa genetika dan seleksi konvensional telah membawa banyak manfaat bagi sektor pertanian, termasuk peningkatan ketahanan terhadap hama dan penyakit, penurunan penggunaan pestisida kimia, dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Varietas ini memungkinkan petani untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian mereka.

1.6.6 Pertanian Vertikal

Konsep dan Teknologi, Definisi dan Jenis-Jenis Pertanian Vertikal

Pertanian vertikal adalah metode budidaya tanaman yang memanfaatkan ruang vertikal, biasanya di dalam ruangan atau bangunan bertingkat, untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan. Ini termasuk beberapa teknik utama: 1. Hidroponik: Sistem pertanian di mana tanaman tumbuh di media tanpa tanah, menggunakan larutan nutrisi yang mengalir ke akar tanaman. 2. Aeroponik: Metode pertanian di mana akar tanaman digantung di udara dan disemprotkan dengan larutan nutrisi. 3. Aquaponik:

Kombinasi antara hidroponik dan akuakultur, di mana tanaman tumbuh dalam sistem yang terhubung dengan tangki ikan. Limbah dari ikan digunakan sebagai nutrisi untuk tanaman. Pertanian vertikal menawarkan solusi untuk memproduksi pangan di ruang terbatas, menggunakan teknologi canggih. Pertanian vertikal memungkinkan produksi pangan dalam ruang terbatas melalui sistem hidroponik, aeroponik, dan aquaponik (Despommier, 2013).

Tabel 1.20. Jenis-Jenis Pertanian Vertikal

Pertanian Vertikal	Definisi	Teknologi Utama
Hidroponik	Tanaman tumbuh dalam larutan nutrisi tanpa tanah	NFT, DWC
Aeroponik	Tanaman tumbuh, akar tergantung di udara, disemprot	Spray Nozzles, Misting Systems
Aquaponik	Integrasi budidaya ikan dan pertanian tanaman	Sistem Ikan-Tanaman

Teknologi yang Digunakan

Pertanian vertikal menggunakan berbagai teknologi untuk mendukung pertumbuhan tanaman, termasuk: *(i) LED (Light Emitting Diodes)*: Digunakan untuk pencahayaan yang efisien, menyediakan spektrum cahaya yang optimal untuk fotosintesis. *(ii) Kontrol Iklim*: Sistem yang mengatur suhu, kelembaban, dan CO₂ untuk menciptakan lingkungan tumbuh yang ideal. Teknologi LED dan kontrol iklim merupakan komponen kunci dalam pertanian vertikal. Teknologi LED dan sistem kontrol iklim adalah kunci dalam mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dalam pertanian vertikal (Kalantari & Khoshnam, 2021). Pertanian vertikal memungkinkan produksi pangan yang lebih lokal di area urban, mengurangi ketergantungan pada rantai pasokan panjang (Al-Kodmany, 2018).

Pengurangan Jejak Karbon dan Optimalisasi Sumber Daya

Dengan memproduksi pangan di dekat konsumen dan menggunakan teknologi efisien, pertanian vertikal dapat

mengurangi jejak karbon dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya seperti air dan energi. Pertanian vertikal dapat mengurangi jejak karbon dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Pertanian vertikal berpotensi mengurangi jejak karbon dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya seperti air dan energi (Banerjee & Adenauer, 2014).

Manfaat dan Tantangan

Produksi Pangan di Area Urban, Manfaat: (i) Efisiensi Ruang: (ii) Memungkinkan produksi pangan di ruang terbatas seperti gedung pencakar langit dan atap bangunan; (iii) Kualitas Pangan: Menghasilkan tanaman segar dengan lebih sedikit pestisida dan bahan kimia.

Pengurangan Jejak Karbon dan Optimalisasi Sumber Daya. Manfaat: (i) Pengurangan Jejak Karbon: Mengurangi kebutuhan transportasi pangan dari lokasi produksi ke konsumen; (ii) Optimalisasi Sumber Daya: Menggunakan air dan nutrisi dengan lebih efisien melalui sistem hidroponik dan aeroponik.

Tantangan: (i) Biaya Investasi: Sistem pertanian vertikal memerlukan investasi awal yang tinggi untuk teknologi dan infrastruktur. (ii) Keterampilan Teknologi: Membutuhkan keterampilan teknis untuk mengoperasikan dan memelihara sistem. Pertanian vertikal memberikan solusi untuk produksi pangan di area urban namun menghadapi tantangan biaya dan keterampilan teknologi. Pertanian vertikal dapat mengurangi jejak karbon dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya, namun memerlukan investasi awal yang signifikan dan keterampilan teknis (Despommier, 2013).

Tabel 1.21. Manfaat dan Tantangan Pertanian Vertikal

Aspek	Manfaat	Tantangan
Produksi Pangan Urban	Efisiensi ruang, kualitas pangan lebih baik	Biaya investasi tinggi
Jejak Karbon	Pengurangan jejak karbon melalui pengurangan	Keterampilan teknologi untuk operasional

Aspek	Manfaat	Tantangan
	transportasi	
Optimalisasi Sumber Daya	Penggunaan air dan nutrisi yang lebih efisien	Biaya operasional dan pemeliharaan teknologi

Contoh Implementasi/Studi Kasus:

1. Pertanian Vertikal di Singapura

Singapura, sebagai kota yang sangat padat, telah mengadopsi pertanian vertikal sebagai solusi untuk memastikan ketahanan pangan dan mengurangi ketergantungan pada impor pangan. Pertanian vertikal di Singapura meningkatkan ketahanan pangan dan mengurangi ketergantungan pada impor pangan (Zheng & Li, 2020).

2. Pengembangan Pertanian Vertikal di Gedung Pencakar Langit di New York

Di New York, pertanian vertikal telah diterapkan di gedung pencakar langit untuk memanfaatkan ruang vertikal dan memproduksi pangan secara lokal. Pertanian vertikal di gedung pencakar langit dapat mengoptimalkan penggunaan ruang urban dan meningkatkan produksi pangan lokal. Pengembangan pertanian vertikal di gedung pencakar langit di New York menunjukkan potensi penggunaan ruang urban yang efisien untuk produksi pangan (Newman & Jennings, 2021).

3. Pertanian Vertikal di Indonesia: (i) VertiGrow (Jakarta):

Implementasi sistem hidroponik di gedung pencakar langit untuk produksi sayuran segar. Manfaat: Mengurangi ketergantungan pada pemasok pangan luar kota dan menyediakan sayuran segar kepada penduduk urban; (ii) *GreenSky* (Bandung): Sistem aeroponik di atap gedung untuk menanam berbagai jenis sayuran. Manfaat: Menggunakan teknologi LED untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dan meminimalkan penggunaan air; (iii) Pengembangan Pertanian Vertikal di Gedung Pencakar Langit di Indonesia: 1. UrbanFarm (Jakarta): Pengembangan pertanian vertikal di gedung tinggi untuk menyediakan

pangan lokal dan mengurangi dampak lingkungan. Manfaat: Mengintegrasikan pertanian dalam desain arsitektur gedung untuk memanfaatkan ruang vertikal secara optimal.

Pertanian vertikal di Indonesia menawarkan solusi untuk produksi pangan di area urban dengan manfaat lingkungan yang signifikan. Pertanian vertikal di Indonesia menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan ketahanan pangan urban dan mengurangi dampak lingkungan (Rizki & Sari, 2020).

Tabel 1.22. Studi Kasus Pertanian Vertikal

Lokasi	Teknologi	Deskripsi	Manfaat
Singapura	Kombinasi	Integrasi pertanian vertikal di gedung pencakar langit	meningkatkan ketahanan pangan dan mengurangi ketergantungan pada impor
New York	Kombinasi	Integrasi pertanian vertikal di gedung pencakar langit	mengoptimalkan ruang urban, meningkatkan produksi pangan lokal.
VertiGrow (Jakarta)	Hidroponik	Sistem hidroponik di gedung pencakar langit	Mengurangi ketergantungan pangan luar kota
GreenSky (Bandung)	Aeroponik	Sistem aeroponik di atap gedung	Teknologi LED untuk pertumbuhan tanaman
UrbanFarm (Jakarta)	Kombinasi	Integrasi pertanian vertikal di gedung tinggi	Produksi pangan lokal dan pengurangan dampak lingkungan

Pertanian vertikal adalah inovasi yang menjanjikan untuk produksi pangan di ruang terbatas, seperti area urban dan gedung

pencakar langit. Dengan teknologi seperti LED dan kontrol iklim, serta metode pertanian seperti hidroponik, aeroponik, dan aquaponik, pertanian vertikal menawarkan solusi untuk ketahanan pangan, pengurangan jejak karbon, dan optimalisasi sumber daya. Studi kasus di Singapura dan New York menunjukkan potensi dan manfaat implementasi pertanian vertikal di berbagai konteks.

1.6.7 Biopestisida dan Pupuk Organik

Pengertian dan Jenis-Jenis

Definisi Biopestisida dan Pupuk Organik

- 1. *Biopestisida*: Merupakan pestisida yang terbuat dari bahan alami atau organisme hidup, seperti bakteri, jamur, atau ekstrak tumbuhan, yang digunakan untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Biopestisida biasanya lebih ramah lingkungan dibandingkan pestisida kimia.
- 2. *Pupuk Organik*: Pupuk yang dibuat dari bahan-bahan alami, seperti kompos, pupuk kandang, dan bahan organik lainnya. Pupuk ini berfungsi untuk meningkatkan kesuburan tanah dan menyediakan nutrisi yang dibutuhkan tanaman.

Biopestisida dan pupuk organik memiliki potensi besar dalam meningkatkan keberlanjutan pertanian dan menawarkan alternatif ramah lingkungan untuk pengendalian hama dan peningkatan kesuburan tanah (Sahayaraj & Saranraj, 2018).

Contoh Bahan Alami yang Digunakan

- 1. Biopestisida: *Bacillus thuringiensis* (untuk pengendalian ulat), Neem oil (dari pohon neem untuk pengendalian berbagai hama).
- 2. Pupuk Organik: Kompos (dari bahan organik seperti sisa makanan dan daun), pupuk kandang (dari kotoran hewan).

Tabel 1.23. Contoh Biopestisida dan Pupuk Organik

Jenis	Bahan Alami	Kegunaan
Biopestisida	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Pengendalian ulat
Biopestisida	Neem oil	Pengendalian berbagai

Jenis	Bahan Alami	Kegunaan
		hama
Pupuk Organik	Kompos	Meningkatkan kesuburan tanah
Pupuk Organik	Pupuk kandang	Menyediakan nutrisi

Manfaat Lingkungan dan Kesehatan

1. Reduksi Dampak Negatif Pestisida Kimia

Penggunaan biopestisida dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang seringkali mencemari lingkungan dan berdampak negatif pada kesehatan manusia dan hewan. Pestisida kimia memiliki dampak lingkungan yang signifikan, termasuk pada populasi serangga non-target. "Pestisida kimia, seperti neonicotinoid, dapat memiliki dampak lingkungan yang serius dan mengancam keseimbangan ekosistem" (Goulson, 2013).

2. Peningkatan Kesuburan Tanah dan Keseimbangan Ekosistem

Pupuk organik membantu meningkatkan struktur tanah, mempertahankan kelembaban, dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah, yang pada gilirannya mendukung keseimbangan ekosistem. Pupuk organik secara signifikan meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung keseimbangan ekosistem. Pupuk organik berperan penting dalam meningkatkan kesehatan tanah dan mendukung keseimbangan ekosistem (Smith, 2019).

Tabel 1.24. Manfaat Biopestisida dan Pupuk Organik

Manfaat	Biopestisida	Pupuk Organik
Reduksi Dampak Negatif	Mengurangi penggunaan pestisida kimia	-
Peningkatan Kesuburan Tanah	-	Meningkatkan struktur tanah dan aktivitas mikroba

Manfaat	Biopestisida	Pupuk Organik
Keseimbangan Ekosistem	Mengurangi pencemaran	Meningkatkan keseimbangan ekosistem

Implementasi dan Studi Kasus

1. Penggunaan Biopestisida di Perkebunan Kopi di Amerika Latin
Di Amerika Latin, biopestisida digunakan untuk mengendalikan hama kopi dengan mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Biopestisida efektif dalam mengendalikan hama kopi dan mengurangi dampak lingkungan. Penggunaan biopestisida di perkebunan kopi di Amerika Latin telah berhasil mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan dampaknya terhadap lingkungan (Bocco & Mendez, 2020).
2. Penggunaan Biopestisida di Perkebunan Kopi di Indonesia
Di Indonesia, biopestisida digunakan untuk mengatasi masalah hama pada perkebunan kopi dengan hasil yang positif dalam mengurangi penggunaan pestisida kimia. Penggunaan biopestisida menunjukkan potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia di Indonesia. Penggunaan biopestisida di perkebunan kopi di Indonesia telah menunjukkan hasil positif dalam mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia (Tirta & Hadi, 2022).
3. Dampak Penggunaan Pupuk Organik di Pertanian Organik di Eropa
Di Eropa, penggunaan pupuk organik dalam pertanian organik membantu meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Pupuk organik meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas tanaman di pertanian organik.
Pupuk organik telah memberikan manfaat signifikan bagi kesehatan tanah dan produktivitas tanaman dalam pertanian organik di Eropa (Lal, 2021).
4. Dampak Penggunaan Pupuk Organik di Pertanian Organik di Indonesia

Di Indonesia, pupuk organik telah diterapkan dalam pertanian organik untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung praktik pertanian yang ramah lingkungan. Pupuk organik meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen dalam pertanian organik di Indonesia. Pupuk organik telah meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen dalam pertanian organik di Indonesia (Sutrisno & Ningsih, 2023). Pupuk organik meningkatkan kesuburan tanah dan hasil pertanian organik di Indonesia, mendukung keberlanjutan pertanian (Suhartini & Nugroho, 2021).

Tabel 1.25. Studi Kasus Penggunaan Biopestisida dan Pupuk Organik

Lokasi	Implementasi	Dampak Utama
Amerika Latin	Penggunaan biopestisida di perkebunan kopi	Mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia
Eropa	Penggunaan pupuk organik di pertanian organik	Meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas tanaman
Indonesia	Biopestisida di perkebunan kopi	Mengendalikan hama kopi dan meningkatkan hasil
Indonesia	Pupuk organik di pertanian organik	Meningkatkan kesuburan tanah dan hasil pertanian

Biopestisida mencakup berbagai produk alami dengan potensi untuk mengontrol hama secara lebih ramah lingkungan dibandingkan pestisida kimia. Biopestisida adalah produk alami yang digunakan untuk mengendalikan hama tanaman dengan cara yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pestisida kimia (EPA, 2015). Biopestisida membantu mengontrol hama kopi di Indonesia dan meningkatkan hasil panen. Penggunaan biopestisida di perkebunan kopi Indonesia efektif dalam mengendalikan hama sambil mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia (Hidayat & Widodo, 2020). Biopestisida dan pupuk organik menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan

pestisida kimia dan pupuk sintetis. Penggunaan biopestisida dan pupuk organik merupakan langkah penting dalam menjaga keberlanjutan pertanian. Biopestisida, yang berasal dari organisme alami seperti bakteri dan jamur, dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Pupuk organik, yang terbuat dari bahan alami seperti kompos dan pupuk kandang, membantu meningkatkan kesuburan tanah dan menjaga keseimbangan ekosistem. Dengan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan Kesehatan.

1.6.8 Pengelolaan Air yang Efisien

Teknik dan Teknologi:

Irigasi Tetes, Irigasi Pintar, Pengumpulan Air Hujan

1. Irigasi Tetes: Sistem irigasi yang menyuplai air secara perlahan dan langsung ke akar tanaman melalui pipa kecil atau selang. Teknologi ini sangat efisien dalam penggunaan air dan mengurangi pemborosan.
2. Irigasi Pintar: Menggunakan sensor dan teknologi data untuk memantau dan mengatur pengairan secara otomatis berdasarkan kebutuhan tanaman, kondisi tanah, dan cuaca.
3. Pengumpulan Air Hujan: Mengumpulkan air hujan yang jatuh dari atap atau area lainnya untuk digunakan dalam irigasi atau penyimpanan cadangan air.

Irigasi tetes dan sistem irigasi pintar sangat efisien dalam penggunaan air dan meningkatkan hasil panen. Irigasi tetes dan irigasi pintar menawarkan solusi efisien untuk pengelolaan air dalam pertanian (Keller & Karam, 2020).

Pengolahan dan Penggunaan Air Limbah

Air limbah dari pertanian, seperti dari proses pencucian atau pembersihan, dapat diolah dan digunakan kembali untuk irigasi atau aplikasi lainnya. Pengolahan ini melibatkan teknologi seperti filtrasi, bioreaktor, dan sistem pengolahan biologis. Pengolahan air limbah dapat mengurangi kebutuhan air bersih dan mendukung keberlanjutan pertanian. Pengolahan air limbah menawarkan solusi

untuk mengurangi kebutuhan air bersih dan mendukung pertanian yang berkelanjutan (Smith & Smith, 2019).

Tabel 1.26. Teknik dan Teknologi Pengelolaan Air

Teknik/ Teknologi	Deskripsi	Manfaat
Irigasi Tetes	Sistem penyiraman langsung ke akar tanaman	Efisiensi air dan pengurangan pemborosan
Irigasi Pintar	Sistem otomatis yang menggunakan sensor	Pengelolaan air yang lebih presisi
Pengumpulan Air Hujan	Mengumpulkan dan menyimpan air hujan	Sumber cadangan air tambahan
Pengolahan Air Limbah	Teknologi untuk mengolah dan menggunakan air limbah	Mengurangi kebutuhan air bersih

Manfaat dan Tantangan

1. Optimasi Penggunaan Air
Teknik-teknik ini membantu dalam optimasi penggunaan air, yang sangat penting di daerah dengan sumber daya air terbatas. Dengan sistem seperti irigasi tetes dan irigasi pintar, penggunaan air bisa dikendalikan lebih baik, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan efisiensi. Teknik irigasi dan pengelolaan air yang efisien sangat penting untuk mengoptimalkan penggunaan air dan meningkatkan hasil pertanian. Teknik pengelolaan air yang efisien membantu mengoptimalkan penggunaan air dan meningkatkan hasil pertanian (Pereira et al., 2021).
2. Tantangan Implementasi di Daerah Kering
Di daerah kering, tantangan utama termasuk keterbatasan sumber daya air dan biaya tinggi untuk teknologi canggih. Implementasi sistem irigasi pintar dan pengolahan air limbah dapat memerlukan investasi besar dan pelatihan. Daerah kering

menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan air, yang memerlukan solusi teknologi dan manajerial yang inovatif. Daerah kering memerlukan solusi teknologi dan manajerial inovatif untuk mengatasi tantangan pengelolaan air (Hillel, 2018).

Tabel 1.27. Manfaat dan Tantangan Pengelolaan Air

Manfaat	Tantangan
Optimasi penggunaan air	Keterbatasan sumber daya air
Meningkatkan efisiensi irigasi	Biaya tinggi untuk teknologi canggih
Mengurangi pemborosan air	Kebutuhan pelatihan dan investasi

Implementasi/Studi Kasus

1. Sistem Irigasi Pintar di Israel.
Israel dikenal karena inovasi dalam teknologi irigasi pintar untuk mengelola sumber daya air secara efisien di lingkungan yang kering. Sistem irigasi pintar di Israel telah meningkatkan efisiensi penggunaan air dan hasil pertanian. Sistem irigasi pintar di Israel menunjukkan peningkatan signifikan dalam efisiensi penggunaan air dan hasil pertanian (Mahrer & Meroz, 2020).
2. Pengumpulan Air Hujan untuk Pertanian di Brasil.
Di Brasil, pengumpulan air hujan digunakan untuk mendukung pertanian di daerah dengan curah hujan tidak merata, menyediakan cadangan air untuk periode kering. Pengumpulan air hujan mendukung pertanian di Brasil dengan menyediakan cadangan air yang penting selama periode kering. Pengumpulan air hujan telah menjadi solusi penting untuk mendukung pertanian di Brasil, terutama selama periode kering (Santos & Oliveira, 2019).
3. Sistem Irigasi Pintar di Indonesia.
Indonesia telah mulai mengadopsi sistem irigasi pintar untuk mengelola sumber daya air secara lebih efisien di berbagai sektor pertanian. Sistem irigasi pintar di Indonesia

meningkatkan efisiensi penggunaan air namun menghadapi beberapa tantangan seperti biaya dan infrastruktur. Implementasi sistem irigasi pintar di Indonesia menunjukkan peningkatan efisiensi air, meskipun menghadapi tantangan seperti biaya dan infrastruktur (Wibowo & Kurniawan, 2021).

4. Pengumpulan Air Hujan untuk Pertanian di Indonesia. Pengumpulan air hujan digunakan dalam pertanian di Indonesia untuk mengatasi masalah kekeringan dan mendukung pertanian di musim kemarau. Teknik pengumpulan air hujan mendukung pertanian berkelanjutan di Indonesia dengan menyediakan sumber daya air tambahan selama periode kering. Teknik pengumpulan air hujan mendukung pertanian berkelanjutan di Indonesia dengan menyediakan cadangan air selama periode kering (Sari & Hadi, 2022).

1.6.9 Pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan mencakup praktik-praktik yang menjaga keseimbangan antara produksi pangan, kelestarian lingkungan, dan kesejahteraan petani. Praktik ini meliputi rotasi tanaman, agroforestri, penanaman tanaman penutup tanah, dan konservasi air. Dengan menerapkan pertanian berkelanjutan, petani dapat mempertahankan produktivitas lahan dalam jangka panjang dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Praktik-Praktik Berkelanjutan

1. Rotasi Tanaman: Teknik bergiliran menanam beberapa tanaman di lahan yang sama, untuk menghindari kelelahan tanah, kurangi hama penyakit, serta meningkatkan kesuburan tanah;
2. Agroforestri: Sistem yang menggabungkan penanaman pohon dengan pertanian/peternakan untuk meningkatkan keragaman hayati, mengurangi erosi tanah, dan meningkatkan produktivitas;
3. Penanaman Tanaman Penutup Tanah: Menanam tanaman penutup (leguminosa), untuk melindungi tanah dari erosi, meningkatkan kesuburan tanah, mencegah pertumbuhan gulma.

Tabel 1.28. Praktik-Praktik Berkelanjutan

Praktik	Deskripsi	Manfaat Utama
Rotasi Tanaman	Bergiliran menanam berbagai tanaman	Mengurangi kelelahan tanah, mengendalikan hama
Agroforestri	Menggabungkan pohon dengan pertanian atau peternakan	Meningkatkan keragaman hayati, mengurangi erosi
Penanaman Tanaman Penutup Tanah	Menanam tanaman untuk melindungi tanah	Meningkatkan kesuburan tanah, mencegah gulma
Konservasi Air	Teknik efisien untuk pengelolaan air	Mengurangi pemborosan air, meningkatkan ketersediaan
Manajemen Lahan	Teknik optimalisasi dan perlindungan lahan	Menjaga produktivitas tanah, melindungi dari erosi

Praktik-praktik ini meningkatkan kesehatan tanah, mengurangi dampak lingkungan, dan mendukung keberlanjutan pertanian. Rotasi tanaman, agroforestri, dan penanaman tanaman penutup tanah adalah praktik-praktik utama dalam pertanian berkelanjutan yang mendukung kesehatan tanah dan mengurangi dampak lingkungan (Hargrove & Hargrove, 2018).

Manfaat Jangka Panjang

1. Pemeliharaan Produktivitas Lahan

Praktik pertanian berkelanjutan mendukung pemeliharaan produktivitas lahan dengan meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi erosi, dan meminimalkan penggunaan input kimia. Praktik berkelanjutan menjaga produktivitas lahan jangka panjang melalui peningkatan kesehatan tanah dan pengurangan dampak negatif. Praktik pertanian berkelanjutan dapat menjaga

produktivitas lahan jangka panjang dengan meningkatkan kesehatan tanah dan mengurangi dampak negatif dari input kimia (Pretty et al., 2018).

2. Pengurangan Dampak Lingkungan

Pertanian berkelanjutan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dengan mengurangi polusi, menjaga keragaman hayati, dan mengelola sumber daya secara efisien. Praktik berkelanjutan dapat mengurangi polusi, menjaga keragaman hayati, dan mengelola sumber daya secara lebih baik. Praktik pertanian berkelanjutan berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan dengan menjaga keragaman hayati dan mengelola sumber daya secara efisien (Tilman et al., 2017).

1.6.10 Konservasi Air dan Manajemen Lahan

(i) Konservasi Air: Melibatkan teknik seperti irigasi efisien, pengumpulan air hujan, dan pengelolaan air limbah untuk mengurangi pemborosan air dan meningkatkan ketersediaan air untuk tanaman.

(ii) Manajemen Lahan: Teknik pengelolaan yang mencakup penggunaan lahan secara optimal, konservasi tanah, dan perlindungan terhadap erosi untuk memastikan produktivitas jangka panjang. Konservasi air dan manajemen lahan berperan penting dalam menjaga kesuburan tanah dan efisiensi penggunaan sumber daya. Konservasi air dan manajemen lahan adalah kunci untuk menjaga produktivitas tanah dan mendukung pertanian berkelanjutan (Lal, 2020).

Tabel 1.29. Praktik-Praktik Berkelanjutan

Praktik	Deskripsi	Manfaat Utama
Rotasi Tanaman	Bergiliran menanam berbagai tanaman	Mengurangi kelelahan tanah, mengendalikan hama
Agroforestri	Menggabungkan pohon dengan pertanian/peternakan	Meningkatkan keragaman hayati, mengurangi erosi
Penanaman	Menanam tanaman	Meningkatkan

Praktik	Deskripsi	Manfaat Utama
Tanaman Penutup Tanah	untuk melindungi tanah	kesuburan tanah, mencegah gulma

1.6.11 Digitalisasi dan *Internet of Things* (IoT)

Penggunaan teknologi digital dan IoT dalam pertanian memungkinkan pemantauan kondisi lahan dan tanaman secara real-time. Sensor IoT dapat mengukur kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, dan kebutuhan nutrisi tanaman. Data ini kemudian dianalisis untuk memberikan rekomendasi yang tepat bagi petani. Selain itu, platform digital juga dapat digunakan untuk mengelola rantai pasok, pemasaran, dan penjualan hasil pertanian, sehingga meningkatkan efisiensi dan profitabilitas.

Manfaat Jangka Panjang

1. Pemeliharaan Produktivitas Lahan

Praktik pertanian berkelanjutan mendukung pemeliharaan produktivitas lahan dengan meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi erosi, dan meminimalkan penggunaan input kimia. Praktik berkelanjutan menjaga produktivitas lahan jangka panjang melalui peningkatan kesehatan tanah dan pengurangan dampak negatif. Praktik pertanian berkelanjutan dapat menjaga produktivitas lahan jangka panjang dengan meningkatkan kesehatan tanah dan mengurangi dampak negatif dari input kimia (Pretty et al., 2018).

2. Pengurangan Dampak Lingkungan

Pertanian berkelanjutan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dengan mengurangi polusi, menjaga keragaman hayati, dan mengelola sumber daya secara efisien. Praktik berkelanjutan dapat mengurangi polusi, menjaga keragaman hayati, dan mengelola sumber daya secara lebih baik. Praktik pertanian berkelanjutan berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan dengan menjaga keragaman hayati dan mengelola sumber daya secara efisien (Tilman et al., 2017).

1.6.12 Pendidikan dan Pelatihan Petani

Inovasi dalam pertanian tidak akan berhasil tanpa adanya peningkatan kapasitas petani. Program pendidikan dan pelatihan yang berfokus pada teknik pertanian modern, manajemen lahan, dan pemanfaatan teknologi sangat penting. Dengan pengetahuan dan keterampilan yang tepat, petani dapat mengadopsi praktik-praktik inovatif yang meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan.

Pentingnya Peningkatan Kapasitas

Pentingnya Pengetahuan dan Keterampilan bagi Petani

1. Peningkatan Keterampilan: Pengetahuan dan keterampilan teknis sangat penting untuk meningkatkan efisiensi produksi pertanian. Ini termasuk keterampilan dalam teknik budidaya, manajemen hama, dan penggunaan teknologi baru.
2. Adaptasi Terhadap Perubahan: Petani yang terlatih dapat lebih cepat beradaptasi dengan perubahan iklim, kebijakan, pasar, dan dapat mengimplementasikan praktik pertanian berkelanjutan.

Program Pendidikan dan Pelatihan yang Efektif

1. Kurikulum Terintegrasi: Program pendidikan yang efektif mencakup kurikulum yang terintegrasi dengan aspek teknis dan manajerial pertanian, serta memberikan pelatihan praktis.
2. Metode Pengajaran: Penggunaan metode pengajaran yang variatif, seperti pelatihan langsung di lapangan, simulasi, dan penggunaan multimedia, dapat meningkatkan efektivitas pelatihan.

Pendidikan dan pelatihan yang baik dapat secara signifikan meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan petani. Pendidikan dan pelatihan petani yang efektif berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan kesejahteraan melalui pengembangan keterampilan teknis dan manajerial (Chaudhary et al. 2021).

1.7 Kesimpulan

Dari teknologi pertanian presisi hingga penggunaan varietas unggul, pertanian vertikal, dan digitalisasi, berbagai inovasi ini memberikan solusi atas tantangan yang dihadapi. Dengan mengadopsi inovasi-inovasi tersebut, pertanian dapat menjadi lebih efisien, produktif, dan ramah lingkungan, serta mendukung kesejahteraan petani dan ketahanan pangan global. Konteks tersebut menunjukkan Inovasi pertanian memainkan peran penting dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian.

Memberdayakan dan meningkatkan kemitraan antara sektor pertanian dan industri, membuka peluang baru dalam pemasaran produk pertanian berkelanjutan.

Pertanian berkelanjutan merupakan sebuah misi untuk menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan dan berdaya tahan bukan hanya sekadar konsep. Melalui penelitian dan diskusi tentang dampak perubahan iklim, adopsi praktik pertanian berkelanjutan, integrasi teknologi, dan inovasi dalam model bisnis, kita telah menjelajahi kompleksitas tantangan dan peluang yang dihadapi dunia pertanian.

Literatur dalam konteks adopsi praktik pertanian berkelanjutan, menunjukkan faktor-faktor global (kebijakan pemerintah dan dukungan masyarakat) memainkan peran sentral (Thompson, 2019).

Perlu adanya kebijakan yang mendukung adopsi teknologi dalam pertanian dan penyediaan insentif bagi petani yang mengadopsi praktik berkelanjutan.

Pentingnya pengembangan kebijakan yang mendorong model bisnis pertanian berkelanjutan dan mendukung kemitraan antar-pelaku industri pertanian.

Integrasi kebijakan lokal dan keterlibatan masyarakat menjadi kunci sukses dalam menerapkan pertanian berkelanjutan di tingkat lokal.

Keberhasilan model bisnis yang memberdayakan petani merupakan dukungan inovasi dalam model bisnis pertanian berkelanjutan, mengambil contoh dari studi tentang (Johnson, 2017).

Dampak Positif Inovasi terhadap Produktivitas dan Keberlanjutan

Inovasi-inovasi ini memberikan dampak positif yang signifikan terhadap sektor pertanian, antara lain:

1. **Peningkatan Produktivitas:**
Teknologi presisi, varietas unggul, dan pertanian vertikal meningkatkan hasil panen dengan memanfaatkan sumber daya secara lebih efisien.
2. **Keberlanjutan Lingkungan:**
Penggunaan biopestisida, pupuk organik, dan pengelolaan air yang efisien membantu mengurangi dampak lingkungan dari praktik pertanian konvensional.
3. **Ketahanan Pangan:**
Adopsi teknologi digital dan IoT meningkatkan kemampuan prediksi dan respons terhadap tantangan pertanian, mendukung ketahanan pangan global.

Inovasi dalam pertanian sangat penting untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan dalam menghadapi tantangan global. "Inovasi pertanian yang berkelanjutan tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan dan ketahanan pangan" (Tilman & Clark, 2014).

Rekomendasi untuk Masa Depan

1. **Perlunya Adopsi Luas Teknologi Inovatif**
 - a. *Implementasi Teknologi:* Adopsi teknologi inovatif harus diperluas untuk mencakup lebih banyak area dan petani, dengan fokus pada integrasi teknologi baru dengan praktik pertanian yang ada.
 - b. *Pengembangan Infrastruktur:* Investasi dalam infrastruktur untuk mendukung teknologi baru, termasuk sistem irigasi pintar, fasilitas pelatihan, dan platform digital, harus menjadi prioritas.
2. **Pentingnya Kolaborasi antara Pemerintah, Swasta, dan Petani**

- a. *Pemerintah*: Perlu menyediakan kebijakan dan insentif yang mendukung adopsi teknologi inovatif dan praktik pertanian berkelanjutan.
- b. *Swasta*: Perusahaan harus berinvestasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi pertanian serta menyediakan solusi yang terjangkau bagi petani.
- c. *Petani*: Petani harus terlibat dalam pelatihan dan pendidikan untuk memanfaatkan teknologi baru dan praktik terbaik.

Adopsi luas teknologi inovatif dan kolaborasi yang efektif antara berbagai pihak diperlukan untuk mencapai keberlanjutan dalam pertanian. "Kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan petani adalah kunci untuk mendorong adopsi teknologi inovatif dan mencapai keberlanjutan pertanian" (World Bank, 2018).

3. Pengaruh Perubahan Regulasi

Regulasi Baru

- a. *Perubahan Regulasi*: Bagaimana perubahan dalam kebijakan dan regulasi mempengaruhi adopsi dan implementasi teknologi baru.
- b. *Dampak Regulasi*: Dampak regulasi terhadap inovasi dan investasi dalam sektor pertanian.

Regulasi yang adaptif dapat mendukung atau menghambat inovasi, bergantung pada bagaimana kebijakan diterapkan.

4. Ekosistem Inovasi

Ekosistem dan Infrastruktur

- a. *Ekosistem Inovasi*: Infrastruktur yang mendukung inovasi pertanian, seperti inkubator, akselerator, dan jaringan kolaboratif.
- b. *Dukungan Ekosistem*: Peran lembaga penelitian, universitas, dan organisasi non-pemerintah dalam mendorong inovasi.

Infrastruktur dan dukungan ekosistem berperan penting dalam memfasilitasi dan mempercepat adopsi teknologi baru.

5. Pengaruh Kebijakan Internasional Kebijakan Internasional

- a. *Pengaruh Kebijakan Internasional*: Dampak kebijakan internasional terhadap adopsi dan distribusi teknologi pertanian.
- b. *Proyek Internasional*: Studi tentang proyek-proyek internasional yang mempengaruhi inovasi pertanian.

Kebijakan internasional dapat mempengaruhi adopsi dan pengembangan teknologi pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kodmany, K. (2018). Vertical Farming: A Review of Developments and Potential. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 3(1), 21-31.
- Banerjee, C., & Adenauer, L. (2014). Upward and Onward: A Review of Vertical Farming Technologies. *Journal of Urban Agriculture*, 1(1), 13-21.
- Badan Pusat Statistik Indonesia (2022). Statistik Pertanian Indonesia 2022.
- Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2020). Agricultural Census.
- Brown, T., & Zhang, Y. (2024). "Supporting Agricultural Innovation: The Role of Ecosystems and Infrastructure." *Innovation and Ecosystems Journal*.
- Despommier, D. (2013). *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. Thomas Dunne Books.
- Elizabeth. R. 2003; 2004; 2007; 2014; 2011; 2022; 2023. Available: SINTA ID: 6671403; <https://orchid.org/0000-0003-4137-1731>.
- Embrapa (2019). Precision Agriculture in Brazil.
- FAO (2020). Climate-Smart Agriculture: Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation.
- FAO (2020). Global Forest Resources Assessment 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2020). The Role of Technology in Sustainable Agriculture.
- FAO (2017). The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2018). Biotechnology for Sustainable Agriculture.
- FAO (2021). *FAO Statistical Yearbook 2021*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hadi, S., et al. (2023). Application of Precision Agriculture Technology in Corn Farming in Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Technology*, 29(2), 150-165.
- Hargrove, W.L., & Hargrove, J.R. (2018). *Sustainable Agriculture: Principles and Practices*. Springer.

- Hillel, D. (2018). *Soil and Water Conservation: Principles and Practices*. Academic Press.
- IEA (2021). *Renewables 2021*. International Energy Agency.
- ICAR (2020). *Soil Sensor Technology in Indian Tea Plantations*.
- IFOAM (2017). *The World of Organic Agriculture*.
- IFPRI (2021). *Global Food Policy Report*. International Food Policy Research Institute.
- Indian Council of Agricultural Research (ICAR, 2018). *Impact of Climate Change on Indian Agriculture*.
- IPCC (2019). *Climate Change and Land*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IRRI (2019). *Flood-Tolerant Rice Varieties*.
- James, C. (2017). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2017*. ISAAA Brief No. 53.
- Johnson, R., & Liu, M. (2024). "International Policies and Their Impact on Agricultural Innovations." *International Policy Review*.
- Johnson, A. (2017). "Sustainable Agriculture Beyond the Field: Exploring Innovative Business Models." *Journal of Agribusiness*, 35(2), 231-247.
- Kalantari, F., & Khoshnam, H. (2021). *Technologies in Vertical Farming: A Review*. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 23(3), 45-60.
- Keller, J., & Karam, F. (2020). *Principles of Irrigation Engineering*. Springer.
- Kenya Agricultural and Livestock Research Organization (KALRO, 2019). *Soil Erosion and Conservation Strategies*.
- Lal, R. (2020). *Soil and Water Conservation in Sustainable Agriculture*. CRC Press.
- Liu, Q., & Zhang, Y. (2022). *Genetic Engineering and Conventional Breeding: Techniques and Applications*. *Journal of Plant Breeding*, 30(1), 45-63.
- Mahrer, Y., & Meroz, Y. (2020). *Smart Irrigation Technologies in Israel: A Case Study*. *Water Resources Management*, 34(5), 1587-1603.
- Miller, A., & Smith, B. (2021). *Global Implementation of Precision Agriculture Technologies: Case Studies and Benefits*. *Journal*

- of Precision Agriculture, 18(3), 112-130.
- Newman, P., & Jennings, S. (2021). Sky Farming: Vertical Agriculture in Skyscrapers. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 5(1), 45-57.
- OECD-FAO (2020). *Agricultural Outlook 2020-2029*.
- Penson, John, Oral Crapps, C Parr Rosson III, and Richard T Woodward. 2010. *Introduction to Agricultural Economics*. Fifth Edition. New York: Prentice Hall.
- Pereira, L.S., et al. (2021). *Efficient Water Management in Agriculture: Techniques and Strategies*. Elsevier.
- Pimentel, D. (2006). Soil Erosion: A Food and Environmental Threat.
- Pretty, J., et al. (2018). Sustainable Intensification in Agriculture. *Nature*, 555, 47-57.
- Rizki, F., & Sari, R. (2020). Vertical Farming in Indonesia: Case Studies and Future Prospects. *Journal of Urban Agriculture*, 15(3), 56-68.
- Santos, M., & Oliveira, A. (2019). Rainwater Harvesting for Agriculture in Brazil. *Agricultural Water Management*, 214, 150-160.
- Sari, I., & Hadi, S. (2022). Rainwater Harvesting Techniques for Sustainable Agriculture in Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Technology*, 25(1), 85-94.
- Shelton, A.M., & Roush, R.T. (2016). Resistance Management for Bt Crops. *Journal of Economic Entomology*, 109(3), 961-965.
- Smith, J. (2010). "Climate Change and Food Production: An Overview." *Journal of Agricultural Science*, 148(6), 553-570.
- Smith, A., & Smith, P. (2019). *Wastewater Treatment and Reuse in Agriculture*. CRC Press.
- Thompson, S., & Patel, R. (2024). "The Impact of Regulatory Changes on Agricultural Innovation: A Global Perspective." *Policy Review in Agriculture*.
- Thompson, L. K. (2019). "Factors Affecting Adoption of Sustainable Agricultural Practices: A Global Perspective." *Journal of Sustainable Agriculture*, 46(3), 275-292.
- Tilman, D., et al. (2017). Sustainable Agriculture and Its Implications for the Environment. *Science*, 357(6348), 126-133.
- Utama, P., et al. (2024). Impact of Soil Sensors on Tea Plantation

- Management in Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture*, 22(1), 85-98.
- USDA (2018). *Precision Agriculture in the United States*.
- Wibowo, S., & Kurniawan, R. (2021). Adoption of Smart Irrigation Systems in Indonesia: Progress and Challenges. *Journal of Water*.
- World Bank (2020). Challenges in Implementing Agricultural Innovation. and Climate Change, 12(2), 221-230.
- World Bank (2019). *Digital Agriculture: The Future of Agriculture*.
- World Bank (2020). *Agricultural Sector in Africa: Status and Challenges*.
- Zhang, N., et al. (2022). Precision Agriculture Technology for Crop Management. *Precision Agriculture Journal*, 23(1), 45-67.
- Zheng, Z., & Li, Q. (2020). Vertical Farming in Singapore: A Case Study. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 41(2), 165-179.

BAB 2

DASAR-DASAR PERTANIAN MODERN

2.1 Pendahuluan

Konsep pertanian modern yang berkembang dalam dua dekade terakhir dicirikan antara lain oleh penggunaan alat dan mesin pertanian secara masif. Konsep pertanian modern tersebut menekankan mekanisasi pertanian sebagai komponen penting dalam upaya mencapai target swa sembada pangan berkelanjutan. Konsep tersebut juga menunjukkan perubahan total sistem usaha pertanian yang dianut saat ini dengan sistem mekanisasi teknologi guna mencapai tujuan swa sembada pangan berkelanjutan tersebut. Pemahaman pertanian modern yang menggunakan teknologi secara masif juga erat kaitannya dengan perubahan perilaku petani. Perilaku petani dalam melaksanakan kegiatan usahatani nya akan terkena dampak luar biasa oleh intervensi teknologi eksternal yang ditawarkan kepada mereka. Konsep pertanian modern tidak terpisahkan dari upaya optimalisasi sumber daya lahan pertanian dan upaya meningkatkan daya saing sektoral.

Pembangunan sektor pertanian modern secara terus-menerus harus selalu didukung oleh perekayasaan dan pengembangan inovasi yang sejalan dengan tuntutan dan perkembangan sektor pertanian tersebut. Suatu pertanian modern dicirikan oleh penerapan teknologi dan inovasi yang luwes dalam arti dapat disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan kegiatan produktif sektor pertanian, antara lain dengan pengembangan dan penciptaan inovasi antisipatif yang berpandangan masa depan. Inovasi futuristik demikian dapat berupa inovasi teknologi, inovasi sosial kelembagaan, inovasi strategi pemasaran, dan lain-lain. Aspek-aspek modernisasi dan futuristik tersebut harus dapat mendorong pertumbuhan dan perkembangan sektor pertanian secara berkesinambungan.

Dari posisi petani, konsep pertanian modern tersebut akan mengubah perilaku yang berhubungan dengan kegiatan

berusahatani. Keragaman pemahaman dan kesiapan petani dalam menerima intervensi eksternal berupa teknologi dan inovasi lainnya akan mempengaruhi proses adopsi input modern eksternal tersebut. Sebagai pelaku utama dalam kegiatan sektor pertanian, masyarakat petani harus memperoleh jaminan terhadap akses yang layak yang mendukung kelancaran usahatani produktif berkelanjutan sebagai basis meningkatkan ketahanan pangan nasional. Dengan demikian upaya pembangunan pertanian modern harus menjadi jembatan bagi petani dalam hal pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya alam, sosial-ekonomi, inovasi teknologi dan sumber daya lainnya. Secara ringkas pembangunan pertanian modern dapat didefinisikan sebagai “upaya menggerakkan seluruh komponen pembangunan dalam suatu kelompok sosial atau masyarakat yang memungkinkan petani sebagai pelaku utama pembangunan pertanian mampu melaksanakan kegiatan usaha pertanian berbasis bisnis, yang dicirikan antara lain oleh kemampuan menangkap peluang usaha dalam menghasilkan komoditi yang dibutuhkan pasar”.

Ciri utama pertanian modern adalah pertanian berbasis inovasi yang bersifat dinamis sesuai dengan tantangan yang dihadapi. Guna mencapai tujuan tersebut, pembangunan sektor pertanian nasional perlu terus menerus didukung oleh pengembangan inovasi pertanian. Inovasi pertanian tersebut dapat meliputi inovasi teknologi dan inovasi kelembagaan pertanian. Implementasi konsep pertanian modern yang memadukan berbagai aspek modernisasi pertanian dapat menjadi alternatif untuk terus mendorong pertumbuhan pertanian secara berkelanjutan. Dalam konsep pertanian modern, seluruh komponen yang tersedia dalam masyarakat dapat digerakkan untuk memungkinkan petani menjalankan usaha bisnis pertaniannya. Proses produksi dilaksanakan secara efisien, efektif dan berkelanjutan, didukung kelembagaan yang lebih baik dengan motor utama inovasi guna mensejahterakan masyarakat. Untuk mencapai kondisi tersebut diperlukan perubahan paradigma kebijakan pembangunan agar usaha pertanian mampu tumbuh dan berkembang, mengacu pada signal pasar dan peluang usaha yang ada serta pemanfaatan sumber daya secara efektif dan efisien.

Paradigma pertanian modern harus mampu menjawab dan mengatasi masalah yang dihadapi petani melalui upaya pengembangan teknologi dan inovasi lain yang dibutuhkan. Selain itu diperlukan pula kerjasama yang erat antara pihak pemerintah, masyarakat industri atau dunia usaha, perguruan tinggi lembaga penelitian dan lembaga ilmiah lainnya dengan serta petani sebagai pelaku utama kegiatan pertanian. disamping itu, sistem pertanian modern juga dicirikan oleh sistem informasi dua arah yang efektif antara kelompok penentu kebijakan dengan masyarakat tani sehingga arus permasalahan lapangan dapat mengalir dengan cepat dan diterima oleh para pembuat kebijakan serta kelompok teknokrat yang merancang inovasi teknologi. Lebih jauh lagi, peran penyuluhan akan lebih penting dalam mempercepat aliran informasi dan inovasi kepada masyarakat petani. Hal terakhir dalam membangun pertanian modern adalah kemampuan memilih komoditas yang tepat dalam kuantitas dan kualitas untuk memenuhi permintaan pasar nasional dan global pada saat (momen) yang tepat pula. Dalam upaya mencapai kondisi demikian, maka dukungan teknologi dan inovasi lainnya akan memegang peran krusial.

Inovasi adalah alat yang tepat untuk mengubah suatu sistem (termasuk sistem usahatani) yang tengah berjalan, baik secara berangsur-angsur, maupun melakukan perubahan drastis, baik terhadap sistem usaha maupun terhadap manusia pelakunya. Proses integrasi inovasi eksternal demikian berjalan secara bertahap dan secara berangsur-angsur diadopsi oleh ekosistem yang bersangkutan. Proses demikian disebut proses amalgamasi (penyerapan, difusi) karena sifatnya relatif lambat. Intervensi inovasi eksternal dapat juga terjadi secara lebih cepat bila menerapkan strategi *induced innovation*, yaitu inovasi melalui upaya mempengaruhi yang berkisar dari bujukan sampai pemaksaan (*coercion, koersi*) yang diprakarsai atau difasilitasi pihak ketiga yang disebut fasilitator atau katalis. Dengan penanganan dan pengawalan yang tepat serta memadai, inovasi mampu mengubah tata kehidupan masyarakat sesuai dengan karakteristik inovasi yang bersangkutan. Inovasi yang memiliki kebaruan (*novelty*) akan mendapatkan reaksi yang beragam pada tahap awal. Dalam proses

selanjutnya inovasi akan diuji sehingga dapat diterima oleh khalayak, atau dinilai sebagai sesuatu yang tidak perlu diterima atau diterapkan lebih lanjut. Inovasi yang berupa teknologi ataupun cara melakukan sesuatu akan diuji lebih lanjut dari sisi-sisi kemanfaatannya, kesesuaiannya dengan kebutuhan pengguna, kesulitan untuk diterapkan, kemudahan untuk dicoba, dan kemudahan untuk dapat disimak oleh pengguna. Inovasi yang sesuai dengan kebutuhan harus memiliki 3 (tiga) ciri, yaitu kreativitas, inisiatif, dan obyektivitas.

Inovasi yang memiliki ketiga karakteristik tersebut disebut “inovasi disruptif”, yaitu suatu bentuk evolusi dalam adopsi teknologi yang dapat dikembangkan dan diterapkan dalam penyelenggaraan penyuluhan di Indonesia. Dalam hal ini, momen penerapan Undang-Undang No. 23 tahun 2014 (<https://peraturan.bpk.go.id/Details/38685/uu-no-23-tahun2014>), dinilai tepat untuk dijadikan sebagai titik tolak mengembangkan pemikiran tentang penerapan inovasi disruptif dalam penyelenggaraan penyuluhan di Indonesia tersebut.

Penerapan inovasi dapat dilakukan antara lain dengan penerapan strategi *collective learning* (pembelajaran kolektif). Proses *collective learning* dapat dimulai dengan proses fasilitasi terhadap kemampuan individu petani (*individual learning*), kemudian diteruskan ke kelompok masyarakat (*collective learning*). Selanjutnya melalui jaringan kemitraan diciptakan suatu masyarakat belajar atau *learning society*. Sarana belajar harus diciptakan sendiri (*self-generated learning materials*) dari bahan bahan lokal dan secara dinamis dikembangkan oleh masyarakat setempat. Bahan tertulis diperlukan pada tahap tertentu oleh fasilitator untuk dijadikan pedoman bagi pengembangan kelompok lainnya. Kegiatan-kegiatan seperti seminar inovasi petani, penelitian oleh petani, pertemuan teknis petani, memperkuat kemampuan pengembangan organisasi, semuanya dimaksudkan untuk memperkuat jaringan horisontal antar petani, antar kelompok tani, dan antar desa. Perwujudan visi tersebut tidak saja menyangkut pembangunan sumber daya alam, tetapi menyangkut pembangunan manusia seutuhnya. Pendekatan pendidikan yang bersifat holistik seperti ini diperlukan untuk menggali daya kritis masyarakat

sebagai proses yang diperlukan untuk mewujudkan masyarakat belajar atau *learning society*.

Sistem pertanian modern adalah sistem pertanian yang tangguh yang akan mampu mentransformasi usaha agribisnis tradisional ke usaha agribisnis maju dan modern. Sistem pertanian yang tangguh dicirikan mampu menyediakan hasil pertanian sebagai bahan baku industri, dan berkembangnya industri pertanian (agroindustri) secara berkesinambungan dengan kualitas yang baik. Pengembangan agroindustri harus diarahkan pada pengembangan agroindustri pedesaan yang mampu mengintegrasikan petani skala kecil ke dalam sistem industri pertanian yang modern dan efisien. Simpul-simpul kritis pengembangan agroindustri dan agribisnis pertanian di pedesaan perlu diidentifikasi guna menyusun peta jalan simpul-simpul agribisnis. Simpul-simpul agribisnis tersebut dapat dimanfaatkan untuk mempermudah upaya memperkuat keterkaitan antara hulu dan hilir (*backward dan forward linkages*) dalam upaya mewujudkan agribisnis dan agroindustri di pedesaan. Model-model pengembangan usaha pertanian di pedesaan dengan dukungan kelembagaan petani, permodalan, dan pengelolaan usaha yang baik dapat diimplementasikan secara lebih luas untuk mendorong pengembangan agroindustri pedesaan. Secara ringkas, ketangguhan pembangunan pertanian modern terlanjutkan akan bertahan dengan dukungan tiga kelompok faktor penentu utama keberhasilan pembangunan sektor terlanjutkan, yaitu: (a). inovasi teknis, (b). inovasi sosialkelembagaan, dan ©. dukungan kelembagaan eksternal (lembaga-lembaga penelitian, penyuluhan), dan kelembagaan pengembangan teknologi lainnya.

Perkembangan inovasi teknologi akhir-akhir ini telah mencapai tahap konvergensi berbagai disiplin ilmu yang menghasilkan teknologi nano (nanoteknologi). Implementasi nanoteknologi pada sub sektor pertanian dan pangan memiliki urgensi dan potensi dampak yang tinggi. Hal tersebut telah dipublikasikan di berbagai jurnal ilmiah tentang inovasi pangan dan pertanian yang mampu meningkatkan daya saing produk di pasar global. Pemanfaatan nanoteknologi di Indonesia sudah dilakukan di berbagai institusi penelitian dan lembaga-lembaga akademis

lainnya, yang memusatkan penelitian pada aspek-aspek nanomaterial, nanomedicine, nanobiotechnology dan nanodevice. Namun demikian, upaya-upaya tersebut masih menghadapi berbagai tantangan dalam hal upaya peningkatan kemampuan penguasaan iptek, pengembangan/hilirisasi teknologi, keamanan produk, persepsi masyarakat terhadap keamanan produk, serta kesiapan regulasi. Guna mengatasi tantangan-tantangan tersebut diperlukan tindakan hukum dan kebijakan yang mengatur pemanfaatan nanoteknologi di sektor pertanian. Kebijakan tersebut diharapkan mampu mengarahkan pemanfaatan nanoteknologi melalui jalur regulasi dan kebijakan, yang didukung oleh upaya-upaya sosialisasi dan edukasi, sehingga kegiatan penelitian dengan memanfaatkan nanoteknologi dapat mendukung penelitian dan pertanian modern secara optimal.

2.2 Sejarah Modernisasi Bidang Pertanian

Pertanian telah menjadi praktik penting untuk menjaga sistem pendukung kehidupan peradaban manusia sejak zaman kuno. Awal sejarah pertanian modern telah memasukkan beberapa ide inovatif untuk meningkatkan produksi tanaman seperti penerapan pupuk kimia dan pestisida dalam pertanian. Penambahan pupuk kimia dan pestisida telah menjadi bagian mendasar dari sistem pertanian saat ini untuk memenuhi permintaan biji-bijian pangan yang sangat besar di seluruh dunia. Ketika kekurangan pangan yang serius terjadi di berbagai negara berkembang pada akhir tahun 1950-an, berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan produktivitas tanaman serealia (biji-bijian) guna memenuhi kebutuhan pangan masyarakat di berbagai negara berkembang. Para pemulia tanaman mengembangkan biji-bijian hibrida yang memberikan respons positif terhadap aplikasi pupuk kimia yang tinggi (Kendall dan Pimentel, 1994). Peningkatan hasil per hektar dan total produksi biji-bijian hibrida ini sangat luar biasa, khususnya di Asia. Hasil panen yang tinggi dicapai terutama melalui peningkatan penggunaan pupuk dan pestisida kimia (Richardson, 1991; WRI, 1992). Namun setelah beberapa waktu di wilayah pertanian yang sangat produktif di berbagai wilayah

dunia, hasil panen tanaman padi dan serealia lainnya mulai menurun. Menyadari akan hasil yang semakin berkurang, maka timbul pemikiran bahwa mustahil untuk terus meningkatkan dosis pupuk dan pestisida kimia pada tanaman serealia tersebut (Huffman, 1989). Hal ini terbukti, ketika penggunaan pupuk nitrogen ditingkatkan dari 200 menjadi 270 kg/ha atau lebih, hasil panen berkurang secara signifikan (OECD, 1986). Selain itu, meningkatnya kekurangan energi dan meningkatnya biaya bahan kimia pertanian diperkirakan telah membatasi penggunaan pupuk dan pestisida di seluruh dunia, sehingga di era revolusi hijau kebutuhan sarana produksi oleh petani yang awalnya dibantu oleh pemerintah, saat ini telah dikurangi subsidi. Dengan demikian, meskipun ketergantungan pada bahan kimia dalam pertanian Revolusi Hijau telah memberikan kontribusi terhadap peningkatan produksi serealia di dunia, terutama di negara-negara berkembang, namun penggunaan pupuk dan pestisida kimia secara berlebihan telah menyebabkan juga masalah kesehatan masyarakat dan lingkungan yang serius (Bull, 1982; Pimentel, 1991, 1996; Srivastav, 2020). Dengan demikian ketergantungan terhadap pupuk kimia perlu dikurangi. Penggunaan bahan kimia pertanian yang berlebihan akan menurunkan kualitas tanah dan air tanah karena aplikasi nitrogen, fosfor, dan pestisida yang persisten. Pencemaran air tanah akibat penggunaan bahan kimia dalam produksi pertanian yang tidak terkontrol telah menimbulkan beberapa masalah kesehatan manusia karena air tanah merupakan sumber utama air minum yang umum dikonsumsi (Srivastav, 2020).

Pertanian modern di Indonesia sudah diinisiasi sejak Revolusi Hijau pada awal tahun 1970 an. Program yang dijalankan sejak era orde baru telah menggeser pertanian tradisional ke pertanian modern (Gultom dan Harianto, 2021). Selanjutnya diuraikan bahwa modernisasi bidang pertanian telah menghasilkan perubahan besar pada sektor pertanian, baik dari unsur peralatan dan mesin-mesin pertanian, penggunaan bibit unggul, irigasi, pupuk dan pestisida, juga termasuk sikap dan budaya masyarakat pedesaan. Tujuan revolusi hijau adalah untuk meningkatkan

produksi pangan dan ekonomi melalui modernisasi pertanian, agar masalah kelaparan dan kemiskinan dapat dicegah. Revolusi hijau di Indonesia sebenarnya telah menghasilkan swasembada beras tahun 1984-1989, namun swasembada ini hanya berlangsung selama lima tahun. Krisis pangan masih mengancam di berbagai negara terutama negara berkembang, termasuk Indonesia, meskipun revolusi hijau berhasil mengatasi kelaparan untuk beberapa waktu (Novitri, 2021).

2.3 Konsep Pertanian Modern

Pertanian modern adalah sistem pertanian yang selalu mengikuti perubahan terhadap inovasi pertanian dan praktik pertanian untuk meningkatkan produktivitas, ketahanan, kemandirian dan keberlanjutan produksi pangan (Sutiarso, 2019). Menurut Tarigan (2018), pertanian modern merupakan usaha pertanian yang memanfaatkan teknologi terbaru yang sesuai dengan agroekologi dan sosial ekonomi petani, produktif, efisien, dan menguntungkan. Modernisasi pertanian mendorong petani meningkatkan efisiensi dan mengurangi jumlah sumber daya alam yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pangan, bahan bakar, dan serat dunia. Praktik pertanian modern memungkinkan petani meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi dampak lingkungan, sehingga walaupun modern, unsur berkelanjutan merupakan hal mutlak dalam implementasinya. Sistem pertanian berkelanjutan adalah sistem pertanian yang didalam pelaksanaannya wajib mengikuti pilar-pilar mantap secara ekologi, berlanjut secara ekonomi, dan secara sosial budaya, inovasi teknologi yang diterapkan dapat diterima oleh masyarakat setempat.

Pertanian modern didorong oleh perbaikan secara terus menerus, menggunakan teknologi, alat digital, dan data untuk melakukan kegiatan pertaniannya. Dalam kurun waktu tertentu, program Revolusi Hijau berhasil mengubah kebiasaan dan sikap petani Indonesia yang awalnya menggunakan sistem pertanian tradisional menjadi sistem pertanian modern dimana para petani mulai menggunakan teknologi pertanian yang ditawarkan oleh program Revolusi Hijau. Ketika pertanian bergantung pada

teknologi tradisional, harga produk industri pertanian relatif lebih rendah namun memiliki dampak terbatas pada pendapatan per kapita karena sebagian besar tenaga kerja harus tetap berada di sektor pertanian. Demikian pula pertumbuhan tidak akan berkelanjutan sampai harga relatif ini turun di bawah ambang batas tertentu. Hal ini mendorong petani untuk mengadopsi teknologi modern yang menggunakan input yang dipasok oleh industri. Ketika modernisasi pertanian dimulai, pendapatan per kapita tidak lagi stagnan, namun akan meningkat(<https://mnsoybean.org/>).

Pertanian modern selanjutnya bertumpu pada inovasi teknologi mekanisasi pertanian ramah lingkungan sebagai unsur penting dalam upaya mencapai produksi pangan berkelanjutan. Pertanian modern yang bertumpu pada pasokan eksternal berupa bahan-bahan kimia buatan (pupuk dan pestisida), telah menyebabkan kekhawatiran terhadap pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup, sedangkan pertanian tradisional yang tergantung pada input internal tanpa input eksternal menimbulkan kekhawatiran akan rendahnya tingkat produksi pertanian, yang tidak mampu memenuhi kebutuhan manusia. Kedua hal tersebut sangat dilematis dan membawa manusia kepada pemikiran untuk tetap mempertahankan penggunaan input dari luar sistem pertanian, namun tidak membahayakan kehidupan manusia dan lingkungannya (Mugniesyah, 2001). Meskipun menggunakan peralatan mekanisasi modern, namun yang perlu ditambahkan dalam pertanian modern adalah mendorong penggunaan pupuk dan pestisida berimbang yang berasal dari sumber hayati dengan memberikan perhatian yang sama terhadap pengetahuan lokal atau tradisional dan teknik pertanian inovatif, karena model pembangunan pertanian modern ke depan adalah pertanian berkelanjutan yang berada dalam lingkup pembangunan manusia (Yudiarini, 2011).

Pertanian modern menghadapi tantangan besar di abad ke-21 ini seperti perubahan iklim global, peningkatan populasi dan degradasi sumber daya alam termasuk degradasi tanah dan hilangnya keanekaragaman hayati. Sejalan dengan perkembangannya dari tahun ke tahun, green revolution mengalami perkembangan, namun permasalahan yang kompleks tidak hanya

terdapat dalam sektor pertanian dan peningkatan ketahanan pangan serta pengentasan kemiskinan. Pada isu-isu global terkait pencemaran dan lingkungan hidup terhadap produksi pangan juga memerlukan pendekatan, penanganan dan kebijakan yang berpihak pada pemenuhan produksi dengan teknologi modern yang selaras dengan keseimbangan lingkungan. Oleh sebab itu, diperlukan pendekatan pertanian berkelanjutan secara ekologi yang mampu menekan dampak lingkungan dan memenuhi target produksi pangan, pakan dan biofuel yang berkelanjutan.

2.4 Ciri Pertanian Modern

Pertanian modern memiliki ciri-ciri sebagai berikut (Napitupulu, 2000; Rasahan, 2000; Mardikanto, 2013):

1. Pertanian berkarakter tangguh, efisien, memenuhi skala ekonomi, menerapkan teknologi maju, penggunaan mesinmesin pertanian modern, spesifik lokasi, dikelola secara , bersaing dalam pasar lokal, nasional dan global.
2. Sumberdaya alam dikelola secara berkelanjutan dan antisipatif menghadapi perubahan lingkungan strategis.
3. Bersifat komersial, dinamis, responsif terhadap inovasi teknologi yang selalu berkembang untuk meningkatkan produktifitas dan menurunkan biaya produksi.

Dengan batasan di atas, maka suatu pembangunan pertanian modern secara dinamis mensyaratkan beberapa hal berikut:

1. Kegiatan usahatani dijalankan sebagai sebuah entitas bisnis, dengan kemampuan dalam menangkap peluang usaha dan momentum pengembangan komoditi yang dibutuhkan pasar dan mesejahterakan pelaku usaha atau petani (orientasi program pada kesejahteraan petani dan bukan pemenuhan produksi semata).
2. Proses produksi dilaksanakan secara efisien, efektif, dan ber kelanjutan terhadap sumber daya yang ada (lahan bukan kendala)
3. Mengembangkan kelembagaan yang mendukung pengembangan kemampuan personal dan kerja bersama, sehingga petani mendapatkan penghargaan secara wajar dari

- usaha yang di lakukannya, (kelembagaan yang mengoptimalkan pemanfaatan nilai tambah bagi petani).
4. Terbangun masyarakat yang melek teknologi melalui pengembangan sistem inovasi yang berkelanjutan (inovasi terbuka)

Berdasarkan uraian di atas suatu pembangunan pertanian modern adalah kegiatan usahatani yang dinamis dan mensejahterakan petani dengan mengusahakan komoditi yang diminta pasar, efisien dalam penggunaan sumber daya serta didukung oleh kelembagaan yang memaksimalkan nilai tambah bagi petani dan secara sistematis didukung oleh teknologi yang selalu diperbaharui.

2.5 Tinjauan Konsep Inovasi dan Inovasi Disruptif

Apabila dicermati lebih lanjut, Inovasi ternyata berkaitan dengan beberapa aspek ataupun konsep-konsep lain. Menurut Setyawati dan Rosiana (2016), beberapa ahli berpendapat bahwa terdapat hubungan yang positif antara Inovasi dengan perkembangan bisnis suatu kegiatan usaha. Dalam pada itu, ahli yang lain menyatakan bahwa perkembangan bisnis lebih dicirikan oleh adanya Keunggulan Kompetitif usaha yang bersangkutan. Keunggulan Kompetitif, di sisi lain, dinilai juga banyak terkait dengan sejumlah inovasi yang dilakukan oleh perusahaan. Ditemukan selanjutnya oleh Setyawati dan Rosiana bahwa keunggulan kompetitif memediasi hubungan positif antara inovasi dan kinerja bisnis. Saat memberikan catatan memasuki tahun baru 2016, Rachman dan Latuputty (2016) menyatakan bahwa tahun 2016 harus dilihat sebagai *Tahun Inovasi*. Hal ini mengingat tantangan-tantangan yang makin nyata dihadapi oleh masyarakat, terutama yang terkait dengan Globalisasi maupun penerapan Masyarakat Ekonomi Asean (MEA). Inovasi harus menjadi semangat semua pihak untuk menyikapi perkembangan yang terjadi. Pemikiran-pemikiran kreatif diperlukan dalam upaya membangkitkan inovasi tersebut. Rachman dan Latuputty mencontohkan perlunya inovasi lebih lanjut untuk mengembangkan kreatifitas yang terwujud menjadi Inovasi Bank Sampah di Malang,

keaktivitas untuk berbagi tumpangan kendaraan menuju arah yang sama, ataupun “inovasi lawan arus” yang dicontohkan Presiden Joko Widodo dengan duduk di pesawat kelas ekonomi, misalnya.

Menyikapi lebih lanjut pernyataan Rachman dan Latuputty (2016) tentang keterkaitan inovasi dengan kreativitas, Gaut (2010) menyatakan bahwa secara umum proses kreatif terjadi melalui 4 (empat) tahapan: a. Persiapan, b. Inkubasi, c. Iluminasi, dan d. Verifikasi atau Elaborasi. Dalam kondisi tertentu, proses kreatif dapat pula melalui hanya 2 (dua) tahapan saja: Mengembangkan, dan Mengeksplorasi. Burbiel (2009) secara lebih terbuka bahkan menyebutkan bahwa: “Creativity is of paramount importance to the innovation process”. Dalam pandangan Burbiel, kreativitas adalah prasyarat untuk munculnya suatu Inovasi; lebih lanjut dinyatakannya bahwa kreativitas adalah bentuk dari suatu “pre-innovation”. Henry dan Mayle (2016) memperluas hal tersebut dengan menyatakan bahwa Kreativitas dan Inovasi adalah jalan untuk menuju kepada upaya melakukan sesuatu dengan lebih baik serta berbeda dengan yang telah ada.

Proses Kreatif ternyata juga dipengaruhi oleh ciri-ciri mereka yang memiliki potensi untuk melakukan suatu upaya kreatif. Ciri-ciri individu yang kreatif menurut Gaut antara lain adalah terbuka terhadap pengalaman orang lain, tidak terlalu konvensional, lebih percaya diri, ambisius, namun juga cenderung impulsif. Hal ini diduga menjadi salah satu penjelasan pernyataan Gaut selanjutnya, yaitu bahwa Proses Kreatif berhubungan erat dengan Imajinasi seseorang; ciri-ciri individu yang kreatif diatas menunjukkan kecenderungan bahwa mereka secara psikologis adalah orang-orang yang juga memiliki daya imajinasi tinggi. Para pemikir Sosiologi pasti akan selalu ingat pada pemikiran Mills (2000) yang, melalui imajinasinya, memandang bahwa Sosiologi adalah upaya untuk mencari keterkaitan antara kehidupan individu dengan masalah-masalah sosial yang dihadapi dalam kehidupan masyarakat. Ciri-ciri individu Kreatif merupakan situasi dalam lingkup analisis individu; namun apabila hal tersebut dikaitkan dengan Inovasi sebagai pengembangan dari proses kreatif, maka dampaknya dapat menjadi berskala kehidupan masyarakat secara meluas.

Pemerintah Indonesia menilai bahwa Inovasi seyogyanya menjadi pendorong bagi jalannya pembangunan nasional. Untuk itu pada tahun 2010 dibentuk Komite Inovasi Nasional, yang bertugas untuk menggali pemikiran dan pandangan dari pihak-pihak yang berkepentingan dalam memajukan pembangunan sosio-ekonomi nasional melalui sistem inovasi nasional. Namun demikian, dengan pertimbangan efisiensi dan perampingan kelembagaan pemerintahan, serta terutama dengan adanya pergantian pemerintahan, pada tahun 2014 lembaga ini dibubarkan.

Terkait dengan konsep Inovasi Disruptif (ID), Bower dan Christensen (1995) memperkenalkan untuk pertama kali melalui media Harvard Business Review. Bower dan Christensen menemukan kecenderungan bahwa ketika pasar dan teknologi mengalami perubahan, perusahaan-perusahaan besar yang semula menguasai pasar gagal untuk mempertahankan posisi mereka. Hal ini terjadi karena perusahaan-perusahaan tersebut begitu “setia dan memanjakan” konsumen lama mereka. Dengan adanya perubahan teknologi, perusahaan baru yang mampu menciptakan produk-produk baru mereka yang lebih berorientasi kepada kebutuhan masa depan konsumen, mampu secara perlahan menciptakan pasar baru yang meskipun kecil, namun memiliki potensi perkembangan dimasa mendatang. Perusahaan ban Good Year dan Firestone, misalnya, terlambat mengadopsi jenis ban radial. Demikian pula perusahaan photo copy Xerox terlambat memikirkan pengembangan mesin copy kecil yang dikembangkan oleh Canon. Dengan demikian Bower dan Christensen merekomendasikan bahwa apabila perusahaan-perusahaan terkemuka tersebut masih ingin mempertahankan posisinya, mereka harus berani untuk menciptakan organisasi independen untuk mengikuti pola baru tersebut. Selanjutnya dikemukakan bahwa terdapat 3 (tiga) kata kunci yang diperlukan untuk ini: Kreativitas, Inisiatif, dan Obyektivitas.

Dalam perkembangan selanjutnya, Christensen (2016) memunculkan pertanyaan: mengapa perusahaan-perusahaan besar yang dikelola dengan manajemen yang baik mengalami kegagalan? Kesimpulan yang didapat oleh Christensen adalah mereka gagal karena tidak dapat melakukan pengembangan Teknologi Disruptif

yang pada akhirnya mampu mengalihkan pasar yang selama ini dimiliki oleh para perusahaan besar itu. Hal ini terjadi karena perusahaan besar tersebut menjadi bias terhadap 4 (empat) hal: (a) selalu mendengarkan permintaan pelanggan, (b) 'memanjakan' pelanggan dengan selalu mengembangkan teknologi yang telah ada (the sustaining technologies) untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan permintaan mereka, (c) selalu mencari margin yang makin besar, dan (d) berorientasi pada pengembangan pasar yang lebih besar. The Innovator's Dilemma, menurut Christensen, menggambarkan bagaimana perusahaan-perusahaan besar dengan kapasitas usaha dan omzet yang besar dapat justru mengalami kegagalan usaha apabila salah dalam menyikapi perubahan pasar dan teknologi yang berkembang.

Lebih lanjut Christensen menyatakan bahwa pada sisi yang berbeda, Teknologi Disruptif mengubah nilai-nilai yang telah berlaku di pasaran. Pada awalnya Teknologi Disruptif memiliki keragaan dibawah standar teknologi yang telah ada. Namun Teknologi Disruptif menawarkan aspek-aspek baru yang tidak dimiliki produk yang telah ada; teknologi ini lebih murah, lebih kecil ukurannya, lebih mudah penggunaannya, serta lebih ramah pengguna (users' friendly). Modal dasar ini menjadi titik tolak yang sangat kuat bagi pengembangan Teknologi Disruptif untuk terus meningkatkan kualitas produknya, menambah kelebihan-kelebihan baru, yang pada akhirnya secara perlahan tetapi pasti mampu mengambil alih pasar perusahaan terdahulu.

Konsep Teknologi dan Inovasi Disruptif kemudian mewarnai perkembangan bisnis global. Berbagai unit bisnis kemudian mencoba menerapkannya dalam pengelolaan bisnis perusahaan yang bersangkutan. Tidak itu saja, pemikiran dasar konsep ini juga digunakan dalam banyak bidang diluar kegiatan yang terkait dengan bisnis.

2.6 Pembangunan Pertanian Modern

Terkait dengan batasan tentang pertanian modern sebagaimana sudah disinggung pada bagian terdahulu, pada bagian ini bahasan akan lebih luas dari sekadar pertanian moderen, bahasan akan lebih mencakup tentang pertanian modern.

Paradigma pembangunan pertanian modern menurut Soetrisno (2002) harus memperhatikan tiga hal, yaitu:

1. Pembangunan pertanian harus menjamin akses petani terhadap lahan, air dan sarana penunjang lainnya.
2. Pembangunan pertanian sebagai basis dalam menciptakan ketahanan pangan nasional
3. Pembangunan pertanian harus dapat menjembatani pemanfaatan sumber daya yang ada untuk sebesar-besarnya kemakmuran bersama

Ketiga hal di atas akan saling berkaitan dan memunculkan sistem pertanian baru yang ujungnya adalah kesejahteraan petani sebagai pelaku utama pembangunan pertanian. Berdasarkan batasan ini, maka pembangunan pertanian modern minimal harus menjamin akses petani terhadap sumber daya yang ada, sehingga mereka dapat melaksanakan kegiatan usahatani secara baik. Sumber daya yang ada, terutama sumber daya genetik, pemanfaatannya ditujukan untuk menciptakan kemakmuran bersama. Selain itu pembangunan pertanian modern mendukung kemandirian suatu bangsa dalam pemenuhan kebutuhannya sendiri. Interaksi yang berkelanjutan akan menjamin dinamisasi dari pertanian yang ujungnya adalah melalui pewujudan kesejahteraan petani dan digerakkan melalui inovasi.

Bahasan lain tentang pembangunan pertanian modern terkait dengan peran petani dan teknologi, dalam hal ini berkaitan dengan kelembagaan yang mengatur perilaku petani secara individu dan bersama serta keterbukaan terhadap segala sesuatu yang berasal dari luar. Pembangunan pertanian modern mengiring perilaku individu kearah yang terbuka terhadap perkembangan dari luar, terutama teknologi atau inovasi, namun dapat dengan bijak dalam mengaplikasikannya sehingga aspek keberlanjutan dari sumber daya dapat terus terjamin. Selain itu secara bersama perilaku masyarakat diarahkan untuk mendukung pemanfaatan sumber daya bagi kesejahteraan bersama.

Bahasan lain dapat dilihat dari Motes (2010), yang menyatakan pertanian modern sebagai: *"In modern agricultural systems farmers believe they have much more central roles and are*

eager to apply technology and information to control most components of the system. modern agriculture tends to see its success as dependant on linkages—access to resources, technology, management, investment, markets and supportive government policies”

Dohm (2005) melihat bahwa Pembangunan Pertanian modern tidak hanya terkait dengan bagaimana petani menggunakan teknologi terbaru dalam menopang peningkatan produktivitas usaha pertanian, namun yang lebih penting justru bagaimana kegiatan pertanian dikelola sebagai sebuah bisnis yang sukses.

Bahasan lain banyak terkait dengan modernisasi pertanian, salah satunya dapat dilihat pada <https://modernag.org/modern-agriculture/> yang menyebutkan modernisasi pertanian sebagai: *“Modern agriculture is an evolving approach to agricultural innovations and farming practices that helps farmers increase efficiency and reduce the amount of natural resources—water, land, and energy—necessary to meet the world’s food, fuel, and fiber needs. Modern agriculture is driven by continuous improvements in digital tools and data, as well as collaborations among farmers and researchers across the public and private sectors.”*

Berdasarkan beberapa batasan di atas dapat disarikan bahwa pembangunan pertanian modern ujungnya adalah men sejahterakan para pelakunya, dalam hal ini petani. Secara umum maka pembangunan pertanian modern dapat didefinisikan sebagai: *“Upaya menggerakkan seluruh komponen yang ada dalam suatu masyarakat, sehingga memungkinkan pelaku utama pembangunan pertanian atau petani dapat menjalankan usaha bisnis pertanian, yang dicirikan oleh kemampuan dalam menangkap peluang usaha atau momentum dalam menghasilkan suatu komoditi yang dibutuhkan pasar atau menciptakan pasar. Proses produksi dilaksanakan secara efisien, efektif, dan berkelanjutan terhadap sumber daya yang ada, dan dibingkai oleh kelembagaan yang mengatur perilaku individu dan masyarakat ke arah keterbukaan terhadap perubahan yang lebih baik dan menyejahterakan secara individu dan bersama, dengan motor utama perubahan inovasi.”*

Dengan batasan di atas, maka suatu pembangunan pertanian modern secara dinamis mensyaratkan beberapa hal berikut:

1. Kegiatan usahatani dijalankan sebagai sebuah entitas bisnis, dengan kemampuan dalam menangkap peluang usaha dan momentum pengembangan komoditi yang dibutuhkan pasar dan mensejahterakan pelaku usaha atau petani (orientasi program pada kesejahteraan petani dan bukan pemenuhan produksi semata).
2. Proses produksi dilaksanakan secara efisien, efektif, dan berkelanjutan terhadap sumber daya yang ada (lahan bukan kendala)
3. Mengembangkan kelembagaan yang mendukung pengembangan kemampuan personal dan kerja bersama, sehingga petani mendapatkan penghargaan secara wajar dari usaha yang dilakukannya (kelembagaan yang mengoptimalkan pemanfaatan nilai tambah bagi petani).
4. Terbangun masyarakat yang melek teknologi melalui pengembangan sistem inovasi yang berkelanjutan (inovasi terbuka)

Berdasarkan uraian di atas suatu pembangunan pertanian modern adalah kegiatan usahatani yang dinamis dan mensejahterakan petani dengan mengusahakan komoditi yang diminta pasar, efisien dalam penggunaan sumber daya serta didukung oleh kelembagaan yang memaksimalkan nilai tambah bagi petani dan secara sistematis didukung oleh teknologi yang selalu diperbaharui.

DAFTAR PUSTAKA

- Bower. J. L., and C. M. Christensen. 1995. Disruptive Technologies: Catching the Wave. *Harvard Business Review* 73, no. 1 (January–February 1995): 43–53.
- Bull D. 1982. *A Growing Problem. Pesticides and the Third World Poor*. Oxford: Oxfam.
- Burbiel Joachim. 2009. Creativity In Research And Development Environments: A Practical Review. *International Journal of Business Science and Applied Management*, Volume 4, Issue 2, 2009.
- Christensen Clayton M. 2016 (Reprinted). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Harvard Business Review Press. Boston. Massachusetts.
- Dohm. A. 2005. Farming in the A modern business 21st century in a modern world. Spring 2005 . *Occupational Outlook Quarterly*
- Gaut Berys. 2010. The Philosophy of Creativity. *Philosophy Compass* 5/12 (2010): 1034–1046, 10.1111/j.1747-9991.2010.00351.x
- Gultom F dan Harianto S. 2021. Revolusi Hijau Merubah Sosial Ekonomi Masyarakat Petani. Temali. *Jurnal Pembangunan Sosial* 4(2): 145-154. DOI: 10.15575/jt.v4i2.12579
- Henry Jane and David Mayle. 2016. Creativity and Innovation. Open Library.<http://www.open.edu/openlearn/money-management/creativity-andinnovation/content-section-0>
- Huffman, J.R. 1989. Effects of enhanced ammonium nitrogen availability for corn. *J. Agron. Educ.* 18: 93-97.
- Kendall H.W and Pimentel D. 1994. Constraints on the expansion of the global food supply. *Ambio* 23: 198-205.
- Mardikanto. T. 2013. *Membangun Pertanian Modern*. Sebelas Maret university Press. Surakarta.
- Mills Carl Wright. 2000 (Reprinted). *Sociological Imagination*. Oxford University Press. New York, NY.
- Motes. W. C. 2010. *Modern Agriculture and Its Benefits – Trends, Implications and Outlook* . Global Harvest Initiative.
- Mugniesyah. 2006. *Mesin peralatan*. Medan (ID). Departement Teknologi Pertanian Universitas Sumatera Utara.

- Napitupulu T.E.M. 2000. Pembangunan Pertanian dan Pengembangan Industri. Dalam Pertanian dan Pangan. Bunga Rampai Pemikiran Menuju Ketahanan Pangan. Pustaka Sinar Harapan. Jakarta.
- OECD. 1986. Water Pollution by Fertilizers and Pesticides. Paris:Organization for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Pimentel D. 1991. Diversification of biological control strategies in agriculture. *Crop Protection* 10: 243-253.
- Pimentel D. 1996. Green revolution agriculture and chemical hazards. *The Science of the Total Environment* 188 Suppl.1: 86-98.
- Rachman Eileen dan Billy Latuputty. 2016. 2016, Tahun Inovasi. *Kompas*, 2 Januari 2016.
- Rasahan CA. 2000. Pembangunan Tanaman dan Hortikultura Pada Awal Abad 21 (Sebuah Pengalaman). Dalam Pertanian dan Pangan. Bunga Rampai Pemikiran Menuju Ketahanan Pangan. Pustaka Sinar Harapan. Jakarta.
- Richardson M.L. 1991. *Chemistry, Agriculture and the Environment*. Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry.
- Setyawati, Sri M. dan Monica Rosiana. 2016. Pengaruh Inovasi Disruptif Terhadap Kinerja Bisnis Yang Dimediasi Oleh Keunggulan Bersaing Dan Dimoderasi Oleh Kapabilitas Jejaring Usaha (Studi Empiris Pada Usaha Kecil Dan Menengah Di Purwokerto).
- Soetrisno, L. 2002. *Paradigma Baru Pembangunan Pertanian Sebuah Tinjauan Sosiaologi*. Kanisius. Jakarta.
- Srivastav A.L. 2020. Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation. *Pesticides and Chemical Fertilizers. Chemical fertilizers and pesticides: role in groundwater contamination Pesticides and Chemical Fertilizers* 143-159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00006-4>
- Sutiarso L. 2019. Konsep Human Capital sebagai Platform dalam Pengembangan Teknologi Pertanian Cerdas. Pidato Pengukuhan Guru Besar dalam bidang Sistem dan Mesin Pertanian. Universitas Gajah Mada.

<https://tpb.tp.ugm.ac.id/id/2019/09/03/pidatopengukuhan-prof-lilik-sutiarso-sebagai-sebagai-gurubesar-bidang-sistem- dan- mesin-pertanian.xhtml>

Tarigan H. 2018. Mekanisasi Pertanian dan Pengembangan Usaha Pelayanan Jasa Alsintan (UPJA). Forum Penelitian Agro Ekonomi, Vol. 36 (2): 117-128.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21082/fae.v36n2.2018.117-128>.

World Resources Institute (WRI). 1992. World Resources 1992-1993 New York: Oxford University Press.

Yudiarini N. 2011. Perubahan Pertanian Subsisten Tradisional Ke Pertanian Komersial. Dwijen AGRO 2(1).

BAB 3

INOVASI TEKNOLOGI PERTANIAN

3.1 Pendahuluan

Inovasi teknologi dalam bidang pertanian telah menjadi salah satu kunci dalam mengatasi tantangan yang semakin kompleks, seperti peningkatan kebutuhan pangan akibat keterbatasan lahan pertanian, pesatnya pertumbuhan populasi, penurunan produksi akibat organisme pengganggu tanaman dan perubahan iklim, serta makin terbatasnya sumber daya manusia di bidang pertanian. Di seluruh dunia termasuk Indonesia, berbagai teknologi baru telah dikembangkan dan diadopsi untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan sistem pertanian. Teknologi seperti pertanian presisi, robotika, bioteknologi, serta penggunaan *Internet of Things* (IoT) telah memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan efisiensi, kualitas dan kuantitas produksi pertanian. Bab ini akan membahas bagaimana inovasi-inovasi tersebut telah diimplementasikan di lahan pertanian (sawah, kebun atau greenhouse) sesuai beberapa bidang ilmu pertanian, serta bagaimana manfaat dan kontribusinya terhadap pencapaian tujuan keberlanjutan dalam pertanian. Melalui pemaparan dalam bab ini, diharapkan pembaca dapat memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai peran teknologi dalam mengubah lanskap modern menuju masa depan bidang pertanian yang lebih produktif dan berkelanjutan.

3.2 Prinsip Dasar

Pada pelaksanaan penerapan inovasi teknologi pertanian yang dikaitkan dengan pertanian cerdas atau *smart farming* dalam mendukung produktivitas dan keberlanjutan pertanian dengan prinsip dasar:

3.2.1 Pertanian Presisi (*Precision Farming*)

Pertanian presisi merupakan metode pendekatan pelaksanaan budidaya pertanian dengan memastikan bahwa

pengelolaan dilaksanakan sesuai dengan kondisi serta kebutuhan spesifik kondisi tanaman dan tanah. Hal ini mengacu bahwa kondisi masing-masing tanaman pada kondisi aktual lahan pertanian dapat mengalami keragaman kondisi lahan dan cekaman, baik bersifat biotik berupa gangguan dari organisme pengganggu tanaman maupun cekaman abiotik atau mikroklimat yang berbeda. Perbedaan kondisi dan kebutuhan tanaman pun dapat berbeda sesuai dengan tahapan fase pertumbuhan/ perkembangan tanaman, dimana pada varietas/ kultivar berbeda dalam spesies yang sama pun dapat menunjukkan kecenderungan kebutuhan yang berbeda. Pertanian presisi merupakan komponen penting dari *smart farming* yang perlu didorong pengembangannya dalam upaya membantu petani agar mampu meningkatkan dan mengoptimalkan semua unsur yang dapat mendukung terjadinya peningkatan produksi di bidang pertanian (Sulaiman *et al.*, 2024). Pertanian presisi telah berkembang cukup pesat dengan menggabungkan teknologi canggih dan analisis data untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan pengelolaan sumber daya (Sharma, 2023). Kunci dalam pertanian presisi adalah monitoring atau pemantauan spesifik kondisi tanaman di lahan. Semakin modern teknologi atau semakin sensitif peralatan, maka semakin banyak opsi yang dapat dipilih untuk mendapatkan hasil yang sesuai mendekati gambaran sesungguhnya bagaimana tanaman tumbuh dan beradaptasi di lahan. Contohnya adalah monitoring berbasis pengumpulan data *real-time* dapat dilakukan dengan peralatan sensor/ monitor untuk mengukur parameter lingkungan (mikroklimat) seperti kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, pH, dan kadar hara tanah; data-data ini kemudian dikumpulkan dan dianalisis untuk memberikan wawasan secara *real-time* mengenai kondisi tanaman dan lahan. Pemahaman mengenai rangkaian komponen budidaya presisi akan mendukung pertumbuhan dan kesehatan tanaman yang optimal dengan memastikan input yang optimal (mencegah pemborosan, mengurangi resiko keracunan dan meningkatkan profitabilitas), serta meminimalisir akumulasi limbah/ pencemaran akibat pupuk dan pestisida, yang secara umum akan mendukung keberlanjutan pertanian.

Tabel 3.1. Perbedaan antara pengelolaan pada pertanian tradisional dan pertanian presisi

Pertanian tradisional	Pertanian presisi
Lahan dianggap sebagai area yang diperlakukan homogen/ seragam dalam hal perawatan dan pengaturan tanamannya.	Lahan yang dapat ditanami diperlakukan secara heterogen/ bervariasi antar bagian di lokasi yang berbeda.
Manajemen nutrisi ditentukan secara umum berdasar rata-rata kondisi lahan secara menyeluruh.	Manajemen nutrisi bergantung pada hasil monitoring berbasis GPS dan sensor yang spesifik.
Manajemen perlindungan tanaman ditentukan dengan melakukan rerata dari sampling tanaman yang terserang OPT.	Manajemen perlindungan tanaman bergantung pada pola hasil monitoring pengambilan data dari GPS atau sensor.
Mencapai hasil panen yang relatif rendah meskipun sudah menggunakan input yang banyak.	Mendapatkan hasil panen yang lebih tinggi dengan menggunakan input yang minimal.

Sumber: (Kumar, 2024).

Dengan pertanian presisi, memungkinkan petani untuk melakukan manajemen spesifik lokasi dengan menggambarkan pola zona yang berbeda. Teknologi ini membantu mencapai minimalisasi biaya, optimalisasi hasil panen, dan maksimalisasi manfaat dengan menggunakan beberapa teknologi seperti: GPS, GIS, akuisisi data *Remote Sensing*, sistem pendukung keputusan, teknologi laju variabel / VRT (*Variable Rate Technology*), indeks vegetasi perbedaan ternormalisasi / NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), otomatisasi yang dikendalikan sensor, manajemen nutrisi spesifik lokasi, serta pendekatan sistem terpadu rekomendasi dan diagnosis atau DRIS (*Diagnosis and Recommendation Integrated System*) (Daspute et al., 2019).

Pertanian presisi menjadi salah satu langkah awal yang penting dalam membangun *smart farming*. Pengembangan pertanian presisi diharapkan dapat membantu menjawab tantangan yang semakin kompleks dalam pembangunan pertanian akibat berbagai dampak kerusakan seperti akibat dari: perubahan iklim, degradasi dan konversi lahan, serangan hama, dan munculnya permasalahan ketidakpastian mengenai keberlanjutan pangan dan produksi pertanian (Jamil *et al.*, 2023).

3.2.2 Robotika dan Otomatisasi dalam Pertanian

Konsep robotika dan otomatisasi dalam pertanian adalah penerapan teknologi canggih untuk menjalankan tugas-tugas pertanian secara otomatis guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas pangan. Berbagai teknologi robotik telah digunakan dalam berbagai tahap produksi pertanian seperti penanaman, pemupukan, penyiraman, dan panen. Robotika berperan penting dalam mendukung keberlanjutan pertanian dengan mengoptimalkan efisiensi operasional, mengurangi penggunaan sumber daya (tenaga operator pertanian di lapang).

Keberadaan robot dapat meminimalisir keterlibatan manusia dalam aktivitas di lahan pertanian. Komunikasi dalam pembentukan robot sangat membantu dalam meningkatkan kinerja robot dalam *smart farming*. AI sangat penting untuk untuk meminimalisir campur tangan manusia, sehingga perlu dirancang otomatisasi robot dan komunikasi jarak jauh yang baik, serta perlu dikaji pemanfaatan robot yang baik untuk meningkatkan hasil pertanian (Widianto *et al.*, 2023).

3.2.3 Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT)

Kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) telah menjadi terobosan baru di sektor pertanian, dan menawarkan potensi besar untuk revolusi level berikutnya di bidang ini. Dengan populasi dunia yang terus meningkat dan permintaan pangan yang terus meningkat, terdapat kebutuhan penting untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian. Dengan memanfaatkan algoritme AI petani dapat mengambil keputusan berdasarkan data, mengoptimalkan alokasi sumber daya, dan pada akhirnya

meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Kekuatan transformatif AI di bidang pertanian dapat mendukung sistem produksi pangan yang lebih efisien, berkelanjutan, dan tangguh (Patle *et al.*, 2023). AI di bidang pertanian biasanya lebih mengacu pada klasifikasi Kecerdasan Umum Buatan (*Artificial General Intelligence*) yang memiliki kemampuan untuk melakukan tugas intelektual menggantikan tenaga manusia. Sementara pada klasifikasi lain terdapat Kecerdasan Buatan Sempit (*Artificial Narrow Intelligence*) yang melibatkan penerapan AI hanya pada tugas-tugas tertentu misalnya: Alexa, Siri, Sofia, dan Mobil tanpa sopir/ *self-driving* (Sharma, 2021).

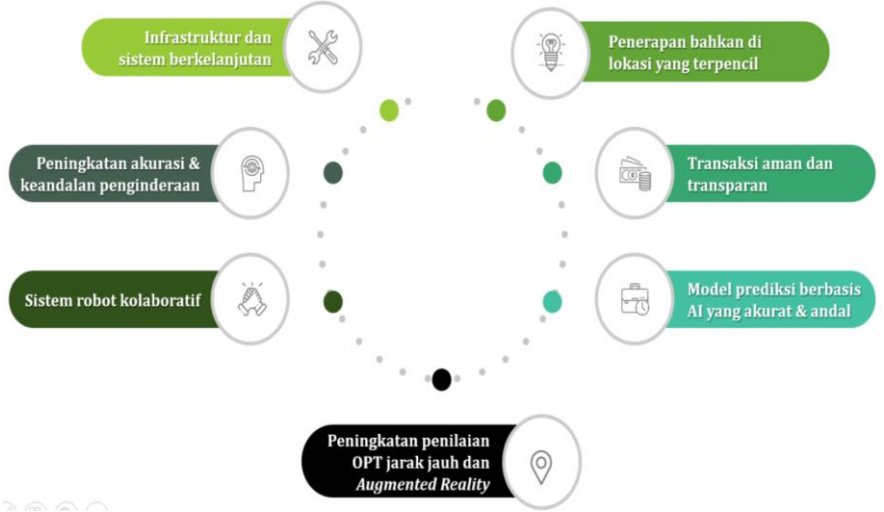
Kecerdasan buatan menyediakan metode dan prosedur canggih yang mendukung pemecahan masalah spesifik domain dan pengambilan keputusan pertanian. Tren penerapan teknik AI di bidang pertanian berdasarkan subdomainnya adalah dengan menggunakan teknologi: Sistem pakar (*expert systems*), Sistem Fuzzy (*fuzzy systems*), Jaringan saraf tiruan (*artificial neural networks*), Sistem visi mesin (*machine vision systems*), dan Sistem hibrida (*hybrid systems*) (Sarkar *et al.*, 2023).

Sepanjang sejarah manusia modern, pertanian telah mengalami serangkaian transformasi progresif berdasarkan teknologi yang terus berkembang dalam upaya meningkatkan produktivitas dan profitabilitas. Selama bertahun-tahun, metode pertanian telah berkembang secara signifikan, berkembang dari Pertanian 1.0, yang mengandalkan peralatan primitif, ke Pertanian 2.0, yang menggabungkan mesin dan praktik pertanian tingkat lanjut, dan selanjutnya ke Pertanian 3.0, yang menekankan mekanisasi dan menggunakan mesin dan teknologi cerdas untuk meningkatkan produktivitas. tingkat produktivitas. Untuk lebih mengotomatisasi dan meningkatkan produktivitas pertanian sekaligus meminimalkan input pertanian dan polutan, pendekatan baru dalam pengelolaan pertanian berdasarkan konsep revolusi industri keempat diterapkan secara bertahap. Pendekatan ini disebut sebagai “Pertanian 4.0” dan sebagian besar diterapkan melalui penggunaan teknologi Internet of Things (IoT), yang memungkinkan kendali jarak jauh terhadap sensor dan aktuator serta pengumpulan dan transfer data secara efisien. Selain itu,

didorong oleh teknologi seperti robotika, kecerdasan buatan, penginderaan kuantum, dan komunikasi empat dimensi, bentuk baru pertanian cerdas, yang disebut “Pertanian 5.0,” kini sedang bermunculan. Pertanian 5.0 dapat memanfaatkan infrastruktur jaringan 5G yang berkembang sebagai basisnya. Namun, hanya jaringan 6G-IoT yang mampu menawarkan kemajuan teknologi yang memungkinkan perluasan Pertanian 5.0 secara penuh (Polymeni *et al.*, 2023).

Kecerdasan buatan (AI) seperti sistem pakar, pemrosesan bahasa alami, pengenalan suara, dan visi mesin telah berubah tidak hanya kuantitas namun juga kualitas kerja di sektor pertanian. Para peneliti dan ilmuwan kini beralih ke pemanfaatan teknologi IoT baru dalam pertanian cerdas untuk membantu petani. AI dapat muncul dalam beberapa sektor seperti: pemantauan tanah dan tanaman, analisis prediktif, dan robotika pertanian (Elbasi *et al.*, 2023).

AI dan IoT di bidang pertanian akan mengarah pada pengembangan model dan algoritma prediktif yang lebih canggih yang dapat mengidentifikasi tren dan pola dalam data yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan. Dengan integrasinya dengan teknologi pembelajaran mesin atau *Machine Learning* (ML) akan menghasilkan pengambilan keputusan yang lebih baik dan praktik pertanian yang lebih tepat.



Gambar 3.1. Aplikasi 6G-IoT dalam Pertanian 5.0
(Sumber: Polymeni et al. (2023))



Gambar 3.2. Sistem pertanian cerdas IoT yang didukung AI
(Sumber: Elbasi et al. (2023))

Pada pemaparan berikut ini disampaikan beberapa penerapan inovasi teknologi berdasarkan jenis bidang dalam ilmu pertanian.

3.3 Agronomi Tanaman Pangan dan Hortikultura

3.3.1 Sistem Manajemen Pertanian Pintar

Teknologi IoT digunakan untuk membaca dan menganalisis suhu, nilai kelembaban, tingkat kelembaban tanah dan kondisi hujan air, benih/bibit, pupuk, dan pestisida. Semua data kemudian dikirimkan ke komputer dan dapat dipantau di telepon seluler menggunakan teknologi Wi-Fi. (Kumar dan Jashuva, 2021). Sistem manajemen pertanian pintar umumnya memanfaatkan integrasi dari penggunaan berbagai tambahan fitur teknologi seperti sensor

asap, sensor kelembaban tanah dan sensor ultrasonik (Sateesh *et al.*, 2020) untuk memantau dan mengelola lahan dengan lebih terencana, cepat dan tepat.

3.3.2 Sistem Hidroponik dan Aeroponik

Sistem Hidroponik dan Aeroponik dilakukan sebagai suatu metode penanaman tanpa tanah (dapat terdiri dari berbagai macam media tanam alternatif baik organik maupun anorganik), yang memerlukan kondisi mikroklimat yang mendukung serta perhitungan presisi dari campuran air baku dan larutan nutrisi (AB mix). Teknologi ini sangat efisien dalam penggunaan air, nutrisi, dan keterbatasan ruang budidaya.

3.3.3 Greenhouse Otomatis

Greenhouse atau rumah kaca dapat dikontrol secara otomatis mampu menghasilkan lebih banyak tanaman per meter persegi dibandingkan dengan penanaman di lahan terbuka, karena parameter iklim mikro yang menentukan hasil panen dapat terus diperiksa dan dikontrol berkala untuk memastikan terciptanya lingkungan yang optimal (Siddiqui *et al.*, 2017). Dengan sistem pengendali otomatis atau jarak jauh dapat mempermudah pengaturan suhu, kelembapan, pencahayaan, pengairan dan pemberian nutrisi/ pestisida.

3.3.4 Mesin Traktor dan Penanam

Mesin traktor dan planter modern dapat beroperasi secara mandiri/ otomatis dengan menggunakan teknologi GPS dan sensor. Di Indonesia sudah mulai banyak digunakan mesin jenis ini, sebagai contohnya adalah mesin otomatis penanam dengan menggunakan tenaga surya dan kendali jarak jauh, *planter* ini memindahkan bibit dari *tray* dan membenamkan ke tanah dengan kedalaman yang bisa diatur sesuai dengan kebutuhan petani. Dengan planter ini dapat mempercepat penanaman padi dan membutuhkan lebih sedikit sumberdaya petani dalam pengoperasikannya (Anandito *et al.*, 2014).

3.4 Pengelolaan Tanaman Perkebunan dan Kehutanan

3.4.1 Robot Penyiang Gulma

Sistem penyiangan robotik otonom telah menunjukkan potensi untuk mengurangi ketergantungan saat ini pada herbisida, sehingga mengurangi polusi lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan, misalnya dengan metode *Convolutional Neural Network* (Wu *et al.*, 2020). Robot penyiang gulma dengan bantuan sensor mendeteksi kondisi tanaman di lahan, kemudian dapat menggunakan teknologi laser untuk menyiangi gula secara otomatis.

3.4.2 Robot Pemanen

Robot pemanen dapat diatur berdasarkan jenis tanaman dan ketinggian pohon untuk memungut buah. Robot jenis bioproduksi ini memiliki struktur dasar: *control system* (pengendali), *sensory system* (pengindera), *travelling device* (pengangkut), *manipulator*, dan *end-effector* (bentuk jari dan pemotong buah) (Subrata dan Nurfitri, 2011). Integrasi teknologi informasi, persepsi otomatis, transmisi, kontrol, dan operasi lainnya dapat menghemat biaya tenaga kerja (Zhang *et al.*, 2024).

3.4.3 Sistem Irigasi Pintar Berbasis IoT

Sistem ini menggunakan informasi dari sensor kelembaban tanah untuk mengairi lahan yang mampu mencegah kelebihan atau kekurangan irigasi di tanah sehingga menghindari kerusakan tanaman. Pemilik lahan pertanian dapat memantau proses ini secara online melalui situs web (Rawal, 2017). Sistem irigasi yang menghemat air dengan mengatur penyiraman berdasarkan data *real-time* dari sensor tanah dan kondisi cuaca.

Pada prinsipnya sistem irigasi pintar berbasis IoT yang menggunakan empat sensor: kadar air, suhu, kelembapan, dan ultrasonik, untuk mengumpulkan data dari area irigasi dan mengirimkannya ke sistem kontrol pusat. Selanjutnya data digunakan sebagai pertimbangan untuk menyalakan atau mematikan pompa irigasi secara otomatis, berdasarkan tingkat kelembapan tanah. Sistem ini juga dilengkapi aplikasi seluler yang

memungkinkan petani memantau sistem dari jarak jauh dan mengendalikan motor pompa dari ponsel pintar (Vadivu *et al.*, 2023).

3.4.4 Data Iklim Mikro Perkebunan

Pengelolaan data iklim mikro dengan memanfaatkan metode big data dan pembelajaran mesin, metode imputasi, dapat diaplikasikan untuk mengatasi hilangnya beberapa data pengamatan iklim mikro. Hali ini dilakukan dalam upaya mendukung pengelolaan tanaman perkebunan yang lebih presisi, seperti yang telah diaplikasikan pada agroforestri pinus dan kopi (Nurwarsito *et al.*, 2024).

3.5 Genetika dan Bioteknologi

3.5.1 Pemuliaan Tanaman

Pengembangan varietas tanaman yang baru dan bersifat lebih unggul dibandingkan dengan yang sudah ada sebelumnya, antara lain untuk menghasilkan ketahanan yang lebih baik terhadap kondisi cekaman biologis maupun cekaman akibat iklim ekstrem melalui bioteknologi. Dengan bioteknologi modern, dapat direkayasa jenis tanaman yang tahan terhadap cekaman biotik atau abiotik sehingga berpotensi meningkatkan ketahanan tanaman dan hasil panen.

Pengembangan tanaman jenis baru juga dapat diaplikasikan untuk memperoleh nilai gizi bahan pangan yang lebih tinggi, termasuk biofortifikasi untuk meningkatkan kandungan vitamin dan mineral. Contohnya adalah produk padi Inpari IR NutriZinc (Susanti *et al.*, 2020) untuk mengatasi *stunting*, serta beras emas/ *Golden Rice* yang banyak dikembangkan di Asia Selatan dan memiliki kandungan fortifikasi karotenoid.

Ada pula teknologi rekombinasi DNA dapat menghasilkan tanaman transgenik tahan OPT. Contoh: Tanaman Bt dengan melakukan cloning terhadap gen toksin Bt atau gen CRY dan diekspresikan ke tanaman seperti jagung dan kapas, dengan mekanisme kerja seperti insektisida sistemik terhadap hama yang memakan bagian tanaman.

3.5.2 Pengeditan Gen dengan CRISPR-Cas9

CRISPR-Cas9 merupakan teknologi baru dalam pengeditan gen yang memungkinkan modifikasi genetika tanaman dengan hasil yang lebih presisi dan akurat. Dengan menggunakan teknik penyuntingan genom yang tepat, efisien, namun terjangkau, tanaman jenis baru hasil penyuntingan genom memasuki skala industri komersialisasi yang lebih luas. (Turnbull *et al.*, 2021).

3.5.3 Kultur Jaringan dan Mikropropagasi Tanaman

Dunia industri produk alami kini semakin berkembang berkat teknologi kultur suspensi sel dan jaringan. Untuk menghasilkan hasil yang tinggi, berbagai upaya telah difokuskan pada isolasi aktivitas biosintesis sel yang dibudidayakan, yang telah dicapai dengan mengoptimalkan pemilihan galur, kondisi kultur, pemberian prekursor, proses transformasi, dan teknik imobilisasi (Ahmad, 2022). Kultur jaringan merupakan salah satu teknik perbanyakan tanaman melalui media *in vitro* untuk menghasilkan tanaman bebas penyakit dan seragam. Metode mikropropagasi ini dapat digunakan untuk menghasilkan tanaman berkualitas tinggi dalam waktu yang lebih singkat dan kualitas bibit yang lebih seragam sesuai indukannya.

3.5.4 Bahan Pangan Berbasis Kultur Sel

Makanan berbasis sel dikembangkan dan ditanam dalam lingkungan yang terkendali dengan mengambil sel dari organisme hidup dan diproses melalui proliferasi kultur sel (Waseem dan Majeed, 2023). Jadi, Pangan Berbasis Sel (*Cell-based Food*) merupakan inovasi produksi daging dan produk pangan lainnya dari sel yang dikulturkan dan diproduksi di dalam laboratorium, menawarkan alternatif dan pengalaman yang berbeda dibandingkan dengan hasil produk ternak konvensional.

3.6 Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman

3.6.1 Teknologi Pengusir Hama

Teknologi pengusir hama otomatis antara lain adalah penolak atau repeller berbasis ultrasonik untuk mengusir hama burung kecil pada tanaman padi (Kusumawardana *et al.*, 2021).

3.6.2 Agensia Hayati

Meningkatnya kekhawatiran tentang penggunaan pestisida kimia sintetis yang berlebihan dan residunya, meningkatnya signifikansi hama serangga dan patogen karena meningkatnya permintaan pangan, munculnya spesies invasif baru, dan galur hama yang resistan terhadap pestisida, merupakan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap perluasan domain pengendalian dengan agensia hayati sebagai bentuk perlindungan tanaman dengan memanfaatkan musuh alami OPT (Jaiswal et al., 2022). Penggunaan organisme hidup seperti bakteri, fungi dan nematoda yang menjadi penekan populasi OPT hama dapat dibiakkan secara massal dan diaplikasikan untuk mengendalikan OPT di lahan pertanian secara lebih ramah lingkungan.

3.6.3 Pendeteksi dan Pengendali Status OPT di Lapang

Antara lain berupa drone dilengkapi dengan kamera multispektral atau sensor gerak *Passive Infrared Receiver* untuk memantau kondisi kesehatan tanaman dan mendeteksi fluktuasi populasi OPT di lahan (Pramana et al., 2017). Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan teknologi citra spektral untuk deteksi penyakit dimana dari hasil analisis gambar/ pengolahan citra satelit, dapat mendeteksi gejala awal penyakit tanaman yang tidak terlihat dengan kasat mata. Hal ini memungkinkan dilakukannya identifikasi dan diagnosis yang cepat dan tepat untuk mengurangi resiko kerugian usahatani dan mengoptimalkan pengendalian OPT secara terpadu.

3.6.4 Interferensi RNA (RNAi)

Interferensi RNA (RNAi) adalah proses biologis di mana molekul RNA kecil membungkam ekspresi gen pada tingkat transkripsional atau pasca-transkripsional, teknologi ini dapat dimanfaatkan terhadap hama nematoda, artropoda, hewan pengerat, siput, siput dan burung (Liu et al., 2020).

3.6.5 Pestisida Nano

Bahan-bahan yang biokompatibel, biodegradable, cerdas, dan responsif saat ini menjadi bidang minat baru dalam bidang formulasi pestisida yang efisien, aman, dan ramah lingkungan. Penggunaan nanoteknologi dirancang dan ditargetkan dengan pelepasan terkendali yang responsif terhadap lingkungan melalui modifikasi senyawa, yang telah menunjukkan potensi besar dalam menciptakan formulasi baru yang lebih efektif (Huang *et al.*, 2018). Pengembangan formulasi pestisida pada skala partikel nano (nanoteknologi) mulai banyak dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pengendalian, kestabilan formulasi, dan reduksi dampak lingkungan. Sehingga diharapkan dapat mengurangi dosis aplikasi pestisida konvensional yang seringkali di atas batas rekomendasi.

3.7 Pengelolaan Sumberdaya Lahan

3.7.1 Teknologi Konservasi Air

Khususnya pada musim kemarau, peningkatan kerugian produksi pertanian akibat kekeringan terkait dengan ketersediaan air. Teknologi yang umumnya digunakan adalah sistem konservasi air hujan *in situ* dan sistem limpasan (Tolossa *et al.*, 2020). Perkembangan teknologi konservasi air meliputi rekayasa dari beberapa alat dan teknik untuk mengumpulkan dan mendaur ulang air, seperti *rainwater harvesting* hingga penggerak turbin sebagai sumber energi listrik terbarukan.

3.7.2 Metode Prediktif Lahan Berbasis AI

Analisis Prediktif dengan menggunakan algoritma AI mampu untuk melakukan analisis data kondisi lahan untuk memprediksi hasil panen dan memberikan rekomendasi pengelolaan lahan. Sudah terdapat beberapa ***Farm Management Software*** sebagai jenis perangkat lunak yang membantu petani modern dalam mengelola seluruh aspek pertanian dari satu platform, termasuk perencanaan, pemantauan, dan analisis kinerja.

Algoritma pembelajaran mesin, seperti *random forest*, *support vector machines*, dan *neural networks*, dapat digunakan untuk mengembangkan model prediktif berdasarkan data tanah yang tersedia dan variabel lingkungan tambahan. Selain itu, teknik

geostatistik seperti kriging dan co-kriging memainkan peran penting dalam interpolasi dan ekstrapolasi nilai properti tanah, sehingga meningkatkan representasi spasial dari kumpulan data (Awais *et al.*, 2023).

3.7.3 Teknologi Pengelolaan Limbah Pertanian

Limbah pertanian dari produksi dan pemrosesan produk pertanian dalam bentuk mentahnya merupakan hasil nonproduktif dan mungkin mengandung zat yang bermanfaat bagi manusia. Limbah ini dapat diubah menjadi barang yang dapat digunakan baik untuk manusia maupun pertanian jika dikelola dengan baik dengan bantuan teknologi dalam sistem pengelolaan limbah pertanian (Behera *et al.*, 2023).

3.8 Agribisnis dan Industri Pertanian

3.8.1 Sistem Manajemen Pertanian

Sistem informasi manajemen pertanian berbeda dari sistem informasi biasa karena tujuan utama sistem ini adalah menganalisis sistem lain yang menangani aktivitas operasional dalam organisasi. Dengan cara ini, Sistem informasi manajemen merupakan bagian dari keseluruhan aktivitas perencanaan dan pengendalian yang mencakup penerapan manusia, teknologi, dan prosedur organisasi. Dalam bidang manajemen ilmiah, Sistem informasi manajemen sebagian besar disesuaikan untuk otomatisasi atau dukungan pengambilan keputusan manusia. Basis data sistem informasi manajemen pertanian umum berisi kumpulan informasi heterogen tentang pertanian yang disimpan oleh penyelenggara komersial. Salah satu perbedaannya adalah bahwa basis data dari sistem informasi manajemen pertanian umum juga harus berisi informasi tentang macam peralatan pertanian yang diperlukan untuk mendukung pertanian presisi yang berkelanjutan (Salami dan Ahmadi, 2010).

3.8.2 Manajemen Rantai Pasok

AI secara signifikan meningkatkan akurasi dan efisiensi peramalan permintaan dan operasi rantai pasok pertanian. Teknologi AI, termasuk pembelajaran mesin dan analisis *big data*,

telah menghasilkan kemajuan dalam analisis data waktu nyata, pemeliharaan prediktif, dan pengoptimalan sumber daya. Namun, tantangan seperti kualitas data, pengembangan infrastruktur, dan kesenjangan keterampilan di antara para profesional pertanian (Elufioye *et al.*, 2024).

3.9 Tantangan dan Masa Depan Inovasi Pertanian

Pengembangan dan adaptasi pelaksanaan inovasi bidang pertanian masih lah menghadapi berbagai tantangan dalam upayanya untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan. Secara teknis, kompleksitas teknologi yang digunakan memerlukan keahlian khusus untuk pengoperasian dan pemeliharaan, yang seringkali tidak dimiliki oleh semua petani terutama bagi sumberdaya yang tidak mendapatkan pendidikan dan pelatihan keterampilan khusus terkait teknologi baru tersebut.

Keberhasilan teknologi pertanian juga sangat bergantung pada data yang akurat selain didukung oleh sistem yang andal, namun terdapat resiko gangguan teknis yang dapat menghambat operasional produksi jika tidak tersedia fasilitas dan tenaga ahli yang mampu menanganinya dengan cepat dan benar. Selain itu, di banyak daerah, terutama di negara berkembang dan daerah terpencil, akses terhadap infrastruktur teknologi dan internet masih terbatas, sehingga menghambat penerapan teknologinya.

Dari sisi ekonomi, biaya awal yang tinggi untuk investasi teknologi seperti sensor, robot, dan sistem otomatisasi menjadi kebutuhan mutlak, namun menjadi hambatan dasar bagi petani kecil yang memiliki tingkat modal menengah ke bawah. Selain itu, biaya untuk pemeliharaan dan perbaikan peralatan teknologi juga tinggi, dapat menambah beban finansial usahatani.

Secara sosial, resistensi terhadap perubahan menjadi tantangan tersendiri, dimana beberapa petani mungkin ragu untuk mengadopsi teknologi baru karena kurangnya pemahaman atau kepercayaan pada teknologi tersebut, atau belum ada bukti yang cukup kuat dan banyak terhadap keberhasilan pemakaiannya. Namun demikian, masa depan inovasi teknologi pertanian sangat menjanjikan dan memiliki potensi besar untuk mengatasi berbagai

tantangan multidimensi terkait dengan keberlanjutan pangan dan pertanian.

Untuk mendukung adopsi teknologi ini, sejumlah rekomendasi kebijakan perlu diterapkan di semua lini pemangku kepentingan. Dukungan finansial seperti subsidi, pinjaman lunak, dan insentif pajak dapat membantu meringankan biaya investasi awal bagi petani. Pengembangan infrastruktur, seperti meningkatkan kualitas serta konektivitas jaringan data, dan pemerataan akses internet di daerah pedesaan untuk membantu mempercepat proses adopsi beberapa jenis teknologi berbasis internet.

Teknologi di industri pertanian membarengi inovasi pertanian yang berkelanjutan dan berdaya saing global. Namun demikian, pendampingan terhadap petani juga perlu tetap dilakukan secara kontinyu dan berkelanjutan atas penerapan teknologi tersebut (Nauroh dan Faturrizky, 2022). Program pelatihan dan pendampingan petani secara komprehensif juga perlu dikembangkan untuk membantu petani memahami kinerja dan mengoperasikan suatu bentuk teknologi baru, misalnya melalui skema pendampingan dan kerjasama antara pemerintah, lembaga pendidikan, dan industri pertanian. Kesadaran dan perlindungan terhadap privasi data juga diperlukan untuk memastikan terjaganya kualitas penyedia jaringan dan keamanan teknologi yang digunakan. Peranan otomatisasi teknologi pertanian akan semakin dibutuhkan di masa datang terutama jika dilihat permasalahan akibat penuaan jumlah tenaga kerja pertanian, pekerjaan di bidang pertanian semakin berkurang peminatnya, peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan pangan, serta lahan pertanian semakin terbatas. Berbagai teknologi berupa peralatan, mesin, metode atau sistem yang fiturnya semakin canggih diharapkan dapat menunjang keberlanjutan pertanian (Efendi dan Sagita, 2022). Dengan mengatasi hambatan-hambatan ini dan menerapkan kebijakan yang tepat, adopsi teknologi dalam pertanian, kontribusinya akan lebih cepat dirasakan secara signifikan terhadap peningkatan produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, G. (2022) "Tissue culture: A perpetual source for the conservation of medicinally important endangered plant species," in Rai, A. C. et al. (ed.) *Advances in Tissue Culture - Current Developments and Future Trends*. Academic Press.
- Anandito, A. et al. (2014) "'Arit' Automatic Rice Transplanter Alat Penanam Padi Tenaga Surya Bagi Petani Godean," *Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional Program Kreativitas Mahasiswa - Teknologi 2014, Jakarta, Indonesia, 2014*. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, hal. 1–7.
- Awais, M. et al. (2023) "AI and machine learning for soil analysis: an assessment of sustainable agricultural practices," *Bioresources and Bioprocessing*, 10(1). doi: 10.1186/s40643-023-00710-y.
- Behera, Swosti Debapriya, Behera, Stuti Debapriya dan Sahoo, T. (2023) "Management of Agricultural Waste," in Sehgal, M. dan Borah, S. (ed.) *Current trends in agricultural & allied sciences Volume 2*, hal. 433–446.
- Daspute, R. A., Umbarkar, R. B. dan Vikhe, R. R. (2019) "Precision agriculture tools: A review.," *Computers and Electronics in Agriculture*, 5(2), hal. 25–28.
- Efendi, R. dan Sagita, D. (2022) "Teknologi pertanian masa depan dan peranannya dalam menunjang ketahanan pangan," *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 1(1), hal. 1–12. doi: 10.54297/sjme.v1i1.297.
- Elbasi, E., Mostafa, N. dan Alarnaout, Z. (2023) "Artificial Intelligence Technology in the Agricultural Sector: A Systematic Literature Review," *IEEE Access*, 11(January), hal. 171–202. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3232485.
- Elufioye, O. A. et al. (2024) "Ai-Driven Predictive Analytics in Agricultural Supply Chains: a Review: Assessing the Benefits and Challenges of Ai in Forecasting Demand and Optimizing Supply in Agriculture," *Computer Science & IT Research Journal*, 5(2), hal. 473–497. doi: 10.51594/csitrj.v5i2.817.
- Huang, B. et al. (2018) "Advances in targeted pesticides with environmentally responsive controlled release by

- nanotechnology,” *Nanomaterials*, 8(2). doi: 10.3390/nano8020102.
- Jaiswal, D. K. *et al.* (2022) “Biocontrol strategies: an eco-smart tool for integrated pest and diseases management,” *BMC Microbiology*, 22(1), hal. 1–5. doi: 10.1186/s12866-022-02744-2.
- Jamil, A. *et al.* (2023) *Master Plan Pengembangan Pertanian Presisi*. Jakarta: Penerbit Agro Indo Mandiri bekerjasama dengan Dirjen PSP, Kementerian Pertanian.
- Kumar, G. V. dan Jashuva, P. (2021) “Smart Farming Management System Using Iot,” *International Journal of Research in Science and Technology*, 11(1), hal. 9–18. doi: 10.37648/ijrst.v11i01.002.
- Kumar, P. (2024) “Precision Agriculture: Technology and Implementation,” in, hal. 65–92.
- Kusumawardana, A. *et al.* (2021) “Smart Bird Repeller Berbasis Ultrasonic dengan Vision Sensor,” *TEKNO*, 31(2), hal. 108–119.
- Liu, S. *et al.* (2020) “RNA-based technologies for insect control in plant production,” *Biotechnology Advances*, 39, hal. 107463. doi: 10.1016/j.biotechadv.2019.107463.
- Nauroh, I. dan Faturrizky, I. (2022) “Teknologi Industri Pertanian: Analisa Kualitatif Menghadapi Tantangan Global Menuju Pertanian Berkelanjutan Di Indonesia,” *Change Think Journal*, 1, hal. 151–157.
- Nurwarsito, H. *et al.* (2024) “Imputation of missing microclimate data of coffee-pine agroforestry with machine learning,” *International Journal of Advances in Intelligent Informatics*, 10(1), hal. 27–48. doi: 10.26555/ijain.v10i1.1439.
- Patle, T., Tomar, B. dan Parihar, S. S. (2023) “Revolutionizing Agriculture : The Applications of Artificial Intelligence,” *Just Agriculture*, 3(11), hal. 274–280.
- Polymeni, S., Plastras, S. dan Kormentzas, G. (2023) “The Impact of 6G-IoT Technologies on the Development of Agriculture 5.0: A Review,” *Electronics*, 12(2651), hal. 24.
- Pramana, D., Nugraha, D. P. dan Prasetya, H. (2017) “Altekn-Denhawer: alat teknologi pendeteksi dan pembasmi hama

- wereng berbasis smartphone," *Jurnal Scientific Pinisi*, 3, hal. 93–97.
- Rawal, S. (2017) "IoT based Smart Irrigation System," *International Journal of Computer Applications*, 159(8), hal. 7–11. doi: 10.5120/ijca2017913001.
- Salami, P. dan Ahmadi, H. (2010) "Review of Farm Management Information Systems (FMIS)," *New York Science Journal Review of FMIS New York Science Journal*, 33(55), hal. 87–95. Tersedia pada: <http://www.sciencepub.net/newyork>.
- Sarkar, U., Banerjee, G. dan Ghosh, I. (2023) "Artificial intelligence in agriculture: Application trend analysis using a statistical approach," *International Journal of Applied Science and Engineering*, 20(1), hal. 1–8. doi: 10.6703/IJASE.202303_20(1).002.
- Sateesh, G., Swetha, N. dan Bharathi, K. (2020) "Smart Forest Farming using Iot," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(5), hal. 721–724. doi: 10.35940/ijitee.e2617.039520.
- Sharma, R. (2021) "Artificial intelligence in agriculture: A review," *Proceedings - 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2021*, (March), hal. 937–942. doi: 10.1109/ICICCS51141.2021.9432187.
- Sharma, S. (2023) "Precision Agriculture: Reviewing the Advancements, Technologies, and Applications in Precision Agriculture for Improved Crop Productivity and Resource Management," *Reviews In Food And Agriculture*, 4(2), hal. 45–49. doi: 10.26480/rfna.02.2023.45.49.
- Siddiqui, M. F. *et al.* (2017) "Automation and monitoring of greenhouse," *2017 International Conference on Information and Communication Technologies, ICICT 2017*, 2017-Decem(December 2019), hal. 197–201. doi: 10.1109/ICICT.2017.8320190.
- Subrata, I. D. M. dan Nurfitra, I. (2011) "Rancangan End-effector untuk Robot Pemanen Buah Paprika," *Keteknikan Pertanian*, 25(2), hal. 87–94.
- Sulaiman, A. A. *et al.* (2024) *Pengembangan Pertanian Presisi - Solusi dan Jawaban Pembanguna Pertanian ke Depan*. Diedit oleh M.

- N. Habibie. Jakarta: Pertanian Press.
- Susanti, Z. *et al.* (2020) *Rekomendasi Budidaya Padi pada Berbagai Agroekosistem*. Subang: Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.
- Tolossa, T. T., Abebe, F. B. dan Girma, A. A. (2020) "Review: Rainwater harvesting technology practices and implication of climate change characteristics in Eastern Ethiopia," *Cogent Food and Agriculture*, 6(1), hal. 1–11. doi: 10.1080/23311932.2020.1724354.
- Turnbull, C., Lillemo, M. dan Hvoslef-Eide, T. A. K. (2021) "Global Regulation of Genetically Modified Crops Amid the Gene Edited Crop Boom – A Review," *Frontiers in Plant Science*, 12(February), hal. 19. doi: 10.3389/fpls.2021.630396.
- Vadivu, M. S. *et al.* (2023) "An IoT-Based System for Managing and Monitoring Smart Irrigation through Mobile Integration," *Journal of Machine and Computing*, 3(3), hal. 196–205. doi: 10.53759/7669/jmc202303018.
- Waseem, M. dan Majeed, Y. (2023) "Cell-based food needs collaborative efforts for safe production and suitable consumption," *Food Safety and Health*, hal. 6–8. doi: 10.1002/fsh3.12009.
- Widianto, M. H. *et al.* (2023) "Smart Farming Using Robots in IoT to Increase Agriculture Yields: A Systematic Literature Review," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 4(3), hal. 330–341. doi: 10.18196/jrc.v4i3.18368.
- Wu, X. *et al.* (2020) "Robotic weed control using automated weed and crop classification," *Journal of Field Robotics*, 37(2), hal. 322–340. doi: 10.1002/rob.21938.
- Zhang, J. *et al.* (2024) "Automatic fruit picking technology: a comprehensive review of research advances," *Artificial Intelligence Review*, 57(3), hal. 1–39. doi: 10.1007/s10462-023-10674-2.

BAB 4

PENGELOLAAN RISIKO DAN KEBERLANJUTAN

4.1 Pendahuluan

Pengelolaan risiko dan keberlanjutan adalah dua konsep yang saling terkait dan semakin penting dalam konteks bisnis modern. Pengelolaan risiko berkaitan dengan identifikasi, evaluasi, dan mitigasi risiko yang dapat menghambat pencapaian tujuan organisasi. Di sisi lain, keberlanjutan menekankan pada praktik yang memastikan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi, kesejahteraan sosial, dan kelestarian lingkungan. Artikel ini akan membahas bagaimana pengelolaan risiko dan keberlanjutan saling terkait dan pentingnya integrasi kedua konsep ini dalam strategi bisnis.

Dalam lingkungan bisnis yang dinamis dan penuh ketidakpastian, pengelolaan risiko menjadi alat penting bagi perusahaan untuk mengantisipasi dan menghadapi berbagai tantangan yang mungkin mengancam operasional dan keberlanjutan mereka. Risiko bisa muncul dari berbagai sumber, termasuk fluktuasi pasar, perubahan regulasi, gangguan rantai pasok, hingga bencana alam. Dengan pengelolaan risiko yang efektif, perusahaan dapat merumuskan strategi untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kejadian yang merugikan serta meminimalkan dampaknya apabila risiko tersebut terjadi.

Di sisi lain, keberlanjutan adalah pendekatan strategis yang berfokus pada pengelolaan sumber daya dengan bijak, memastikan bahwa aktivitas bisnis tidak hanya menguntungkan dalam jangka pendek tetapi juga mendukung kesejahteraan sosial dan kelestarian lingkungan dalam jangka panjang. Dalam era di mana isu lingkungan dan sosial menjadi semakin krusial, keberlanjutan tidak lagi dianggap sebagai pilihan tambahan, melainkan menjadi elemen esensial dalam perencanaan bisnis yang bertanggung jawab.

Keterkaitan antara pengelolaan risiko dan keberlanjutan terletak pada kenyataan bahwa banyak risiko yang dihadapi oleh bisnis modern berasal dari atau berkaitan dengan isu-isu keberlanjutan. Misalnya, risiko terkait perubahan iklim dapat mempengaruhi rantai pasok global, risiko reputasi dapat timbul dari praktik bisnis yang tidak beretika, dan risiko regulasi dapat muncul dari kebijakan pemerintah yang semakin ketat terkait lingkungan. Oleh karena itu, integrasi pengelolaan risiko dengan strategi keberlanjutan membantu perusahaan dalam mengidentifikasi risiko-risiko yang terkait dengan isu keberlanjutan dan meresponsnya dengan cara yang mendukung tujuan jangka panjang perusahaan.

Salah satu contoh konkret dari integrasi ini adalah perusahaan yang mengelola risiko lingkungan dengan mengadopsi teknologi ramah lingkungan dan mengurangi emisi karbon. Ini tidak hanya mengurangi risiko yang terkait dengan perubahan regulasi lingkungan tetapi juga meningkatkan reputasi perusahaan di mata konsumen dan investor yang semakin peduli terhadap isu keberlanjutan. Selain itu, perusahaan dapat mengidentifikasi peluang baru di pasar dengan menawarkan produk atau layanan yang berkontribusi pada keberlanjutan, seperti produk-produk daur ulang atau energi terbarukan.

Untuk mencapai integrasi yang efektif antara pengelolaan risiko dan keberlanjutan, perusahaan harus mengembangkan kerangka kerja yang komprehensif dan adaptif. Kerangka kerja ini harus mencakup identifikasi risiko yang berkaitan dengan keberlanjutan, penilaian dampaknya, serta pengembangan strategi mitigasi yang tidak hanya fokus pada perlindungan bisnis tetapi juga pada penciptaan nilai jangka panjang bagi semua pemangku kepentingan. Selain itu, penting bagi perusahaan untuk terus memantau dan mengevaluasi efektivitas strategi yang diterapkan, mengingat dinamika pasar dan regulasi yang terus berubah.

4.2 Pengelolaan Risiko

4.2.1 Definisi dan Konsep Dasar

Pengelolaan risiko adalah proses sistematis yang melibatkan identifikasi, analisis, dan respons terhadap risiko yang dihadapi

organisasi. Risiko dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk keuangan, operasional, strategis, dan reputasi. Tujuan utama pengelolaan risiko adalah meminimalkan dampak negatif dan memaksimalkan peluang positif yang mungkin muncul.

4.2.2 Langkah-langkah dalam Pengelolaan Risiko

1. Identifikasi Risiko

Proses ini melibatkan pengumpulan informasi untuk mengenali potensi risiko. Teknik yang sering digunakan termasuk brainstorming, wawancara, dan analisis dokumentasi.

Identifikasi Risiko adalah langkah awal dalam pengelolaan risiko yang sangat krusial bagi keberhasilan seluruh proses. Proses ini bertujuan untuk mengenali dan memahami potensi risiko yang mungkin dihadapi oleh organisasi, baik yang berasal dari lingkungan internal maupun eksternal. Dengan mengidentifikasi risiko secara efektif, organisasi dapat mempersiapkan diri untuk mengatasi tantangan yang mungkin muncul dan merencanakan langkah-langkah mitigasi yang tepat.

Berikut adalah beberapa teknik yang sering digunakan dalam proses identifikasi risiko:

a. *Brainstorming*:

- 1) Keterlibatan Tim: Teknik ini melibatkan diskusi kelompok di mana anggota tim saling bertukar ide untuk mengidentifikasi berbagai risiko potensial. Brainstorming biasanya melibatkan berbagai pemangku kepentingan dari berbagai departemen dalam organisasi untuk memastikan bahwa semua aspek bisnis diperhitungkan.
- 2) Kreativitas dan Inklusivitas: Dengan suasana yang terbuka dan kolaboratif, brainstorming memungkinkan ide-ide kreatif dan inovatif muncul, termasuk risiko yang mungkin tidak terlihat jelas dalam analisis formal.

b. Wawancara:

- 1) Pendekatan Mendalam: Melalui wawancara, manajer risiko dapat mengumpulkan wawasan dari

para ahli, manajer, atau staf yang memiliki pengetahuan mendalam tentang proses tertentu. Wawancara memungkinkan eksplorasi mendalam mengenai risiko yang mungkin tidak teridentifikasi melalui metode lain.

- 2) Variasi Perspektif: Dengan berbicara langsung dengan individu yang terlibat di berbagai tingkatan organisasi, wawancara dapat mengungkap risiko yang spesifik dan relevan terhadap bagian tertentu dari operasi bisnis.

c. Analisis Dokumentasi:

- 1) Tinjauan Dokumen: Teknik ini melibatkan pemeriksaan berbagai dokumen organisasi seperti laporan keuangan, laporan audit, prosedur operasional standar, dan data historis insiden untuk mengidentifikasi risiko yang telah terjadi atau berpotensi terjadi.
- 2) Pelajaran dari Masa Lalu: Dengan mempelajari insiden atau kegagalan sebelumnya, organisasi dapat mengenali pola atau tanda-tanda awal dari risiko yang serupa yang mungkin muncul di masa depan.

Menggabungkan berbagai teknik ini dalam proses identifikasi risiko membantu organisasi memperoleh pandangan yang lebih holistik mengenai risiko yang mereka hadapi. Dengan pemahaman yang komprehensif ini, organisasi dapat memprioritaskan risiko berdasarkan dampak dan kemungkinan terjadinya, serta mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif.

2. Analisis Risiko

Setelah risiko teridentifikasi, langkah berikutnya adalah mengevaluasi kemungkinan terjadinya dan dampaknya. Matriks risiko sering digunakan untuk mengkategorikan risiko berdasarkan tingkat keparahannya.

Analisis Risiko adalah langkah kritis dalam proses pengelolaan risiko yang dilakukan setelah identifikasi risiko. Pada tahap ini, fokusnya adalah mengevaluasi setiap risiko yang telah diidentifikasi untuk memahami seberapa besar kemungkinan terjadinya dan dampaknya terhadap organisasi. Dengan analisis yang tepat, perusahaan dapat mengalokasikan sumber daya secara efektif dan mengembangkan strategi mitigasi yang sesuai.

Berikut adalah komponen utama dalam proses analisis risiko:

- a. Evaluasi Kemungkinan Terjadinya (*Likelihood*)
 - 1) Penilaian Kemungkinan: Pada tahap ini, risiko dievaluasi berdasarkan seberapa besar kemungkinan terjadinya dalam konteks operasi organisasi. Penilaian ini bisa bersifat kualitatif atau kuantitatif. Penilaian kualitatif mungkin menggunakan istilah seperti "rendah," "sedang," atau "tinggi," sedangkan penilaian kuantitatif mungkin menggunakan probabilitas tertentu, misalnya 20% atau 50%.
 - 2) Faktor Pengaruh: Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kemungkinan terjadinya risiko termasuk data historis, perubahan lingkungan bisnis, serta tingkat kerentanan dalam proses operasional organisasi.
- b. Evaluasi Dampak (*Impact*)
 - 1) Penilaian Dampak: Setelah mengevaluasi kemungkinan, langkah berikutnya adalah menilai dampak potensial yang bisa ditimbulkan oleh risiko jika terjadi. Dampak ini bisa bervariasi dari kerugian finansial hingga gangguan operasional, kerusakan reputasi, atau masalah hukum. Penilaian dampak biasanya juga menggunakan skala yang serupa dengan penilaian kemungkinan, misalnya dari "rendah" hingga "tinggi."
 - 2) Dimensi Dampak: Dampak risiko dapat mempengaruhi berbagai aspek bisnis seperti keuangan, sumber daya manusia, operasional,

kepatuhan, dan reputasi. Oleh karena itu, penilaian dampak harus mencakup semua dimensi relevan yang berpotensi terpengaruh.

c. Matriks Risiko

- 1) Penggunaan Matriks Risiko: Matriks risiko adalah alat visual yang digunakan untuk mengkategorikan risiko berdasarkan kemungkinan terjadinya dan dampaknya. Matriks ini biasanya berbentuk tabel dua dimensi di mana satu sumbu mewakili kemungkinan, dan sumbu lainnya mewakili dampak. Risiko kemudian ditempatkan di sel yang sesuai dalam matriks ini.
- 2) Kategorisasi Risiko: Matriks risiko membantu mengkategorikan risiko menjadi beberapa tingkat keparahan, seperti risiko "rendah," "sedang," "tinggi," atau "kritis." Risiko yang berada di area "tinggi" atau "kritis" dalam matriks memerlukan perhatian khusus dan tindakan mitigasi segera.
- 3) Visualisasi Prioritas: Matriks ini memudahkan manajer untuk memprioritaskan risiko mana yang harus ditangani terlebih dahulu berdasarkan kombinasi kemungkinan dan dampak. Risiko dengan kombinasi kemungkinan tinggi dan dampak tinggi biasanya diprioritaskan untuk mitigasi.

d. Pemetaan Risiko

- 1) Strategi Tindakan: Berdasarkan hasil analisis dan kategorisasi dalam matriks risiko, organisasi dapat mengembangkan strategi yang tepat untuk mengelola masing-masing risiko. Ini mungkin termasuk penghindaran risiko, pengurangan risiko, transfer risiko (misalnya melalui asuransi), atau penerimaan risiko jika risiko tersebut dinilai dapat ditoleransi.
- 2) Peningkatan Kewaspadaan: Risiko yang dikategorikan sebagai risiko "tinggi" atau "kritis" mungkin memerlukan pemantauan terus-menerus,

pembaruan strategi mitigasi secara berkala, serta pelaporan reguler kepada manajemen puncak.

Dengan analisis risiko yang menyeluruh, organisasi tidak hanya dapat memahami risiko yang dihadapi tetapi juga dapat mempersiapkan diri dengan lebih baik untuk menghadapi tantangan-tantangan tersebut. Matriks risiko, sebagai alat bantu, memainkan peran penting dalam proses ini dengan menyederhanakan kompleksitas analisis risiko dan memberikan gambaran yang jelas tentang prioritas yang harus diambil dalam pengelolaan risiko.

3. Evaluasi Risiko

Proses ini menentukan risiko mana yang memerlukan respons segera dan mana yang dapat ditoleransi.

Evaluasi Risiko adalah langkah penting dalam pengelolaan risiko yang dilakukan setelah analisis risiko. Pada tahap ini, organisasi menentukan bagaimana menangani setiap risiko yang telah diidentifikasi dan dianalisis. Evaluasi risiko membantu manajemen dalam memutuskan risiko mana yang memerlukan tindakan segera dan mana yang dapat ditoleransi berdasarkan penilaian dampak dan kemungkinan terjadinya.

Berikut adalah beberapa komponen utama dalam proses evaluasi risiko:

a. Klasifikasi Risiko Berdasarkan Prioritas

1) Risiko Tinggi (*High-Risk*): Risiko yang memiliki kemungkinan tinggi untuk terjadi dan dampak yang besar terhadap organisasi harus diprioritaskan untuk respons segera. Risiko ini dapat menyebabkan kerugian finansial yang signifikan, kerusakan reputasi, atau gangguan operasional yang parah.

2) Risiko Sedang (*Medium-Risk*): Risiko dengan kemungkinan sedang dan/atau dampak sedang mungkin masih memerlukan tindakan, tetapi dengan urgensi yang lebih rendah dibandingkan risiko tinggi. Tindakan mitigasi mungkin dilakukan dalam jangka waktu menengah.

- 3) Risiko Rendah (*Low-Risk*): Risiko dengan kemungkinan rendah untuk terjadi dan dampak yang minimal biasanya dapat ditoleransi dan tidak memerlukan tindakan segera. Namun, risiko ini tetap harus dipantau karena kondisinya bisa berubah.
- b. Penentuan Tindakan yang Tepat
- 1) Respons Aktif (*Active Response*): Untuk risiko yang dianggap tinggi atau kritis, organisasi perlu segera merespons dengan tindakan yang ditujukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya atau meminimalkan dampaknya. Contoh tindakan termasuk mengubah proses operasional, meningkatkan kontrol keamanan, atau melakukan pelatihan tambahan bagi karyawan.
 - 2) Respons Proaktif (*Proactive Monitoring*): Risiko yang dinilai sedang mungkin memerlukan tindakan pencegahan atau pemantauan secara proaktif. Ini bisa berupa pemantauan terus-menerus terhadap indikator risiko atau menerapkan langkah-langkah mitigasi yang bersifat preventif.
 - 3) Respons Pasif (Toleransi Risiko): Untuk risiko yang memiliki dampak minimal dan kemungkinan rendah, organisasi mungkin memilih untuk mentoleransi risiko tersebut. Toleransi ini berarti tidak ada tindakan mitigasi khusus yang diambil, tetapi risiko tetap dipantau.
- c. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Evaluasi Risiko
- 1) Kepentingan Strategis: Risiko yang berdampak langsung pada tujuan strategis perusahaan biasanya memerlukan tindakan yang lebih cepat dan lebih serius.
 - 2) Kepatuhan Regulasi: Risiko yang dapat menyebabkan pelanggaran terhadap regulasi atau hukum sering kali memerlukan respons yang cepat untuk menghindari sanksi atau kerugian hukum.

- 3) Kapasitas dan Sumber Daya: Evaluasi juga mempertimbangkan apakah organisasi memiliki kapasitas dan sumber daya yang cukup untuk menangani risiko tertentu. Jika sumber daya terbatas, organisasi mungkin perlu memprioritaskan risiko yang paling mengancam.
- d. Pengambilan Keputusan
- 1) Penghindaran Risiko (*Risk Avoidance*): Jika suatu risiko dinilai terlalu besar dan dampaknya sangat merugikan, organisasi mungkin memilih untuk menghindari aktivitas atau keputusan yang menimbulkan risiko tersebut.
 - 2) Pengurangan Risiko (*Risk Reduction*): Langkah-langkah untuk mengurangi kemungkinan atau dampak risiko, seperti dengan meningkatkan protokol keselamatan atau diversifikasi portofolio bisnis.
 - 3) Transfer Risiko (*Risk Transfer*): Memindahkan risiko ke pihak lain, seperti melalui asuransi atau kontrak outsourcing.
 - 4) Penerimaan Risiko (*Risk Acceptance*): Ketika risiko dinilai dapat ditoleransi, organisasi mungkin memilih untuk menerima risiko tanpa tindakan mitigasi tambahan, dengan tetap mempertimbangkan dampaknya jika risiko tersebut terjadi.
- e. Dokumentasi dan Pelaporan
- 1) Dokumentasi Keputusan: Semua keputusan mengenai evaluasi risiko harus didokumentasikan dengan jelas, termasuk alasan di balik keputusan tersebut dan rencana tindakan yang akan diambil.
 - 2) Pelaporan kepada Manajemen: Hasil evaluasi risiko harus dilaporkan kepada manajemen puncak dan, jika perlu, kepada pemangku kepentingan lainnya, untuk memastikan bahwa semua pihak memahami risiko yang dihadapi dan strategi yang akan diimplementasikan.

Dengan melakukan evaluasi risiko yang tepat, organisasi dapat memfokuskan upaya mereka pada risiko yang paling kritis dan mengalokasikan sumber daya dengan efisien. Ini memastikan bahwa organisasi tetap tangguh dalam menghadapi ancaman yang berpotensi mengganggu operasional dan keberlanjutan jangka panjang.

4. Mitigasi Risiko

Mengembangkan strategi untuk mengurangi kemungkinan dan dampak risiko. Strategi ini dapat berupa penghindaran risiko, pengurangan risiko, transfer risiko, atau penerimaan risiko.

Mitigasi Risiko adalah langkah dalam pengelolaan risiko yang berfokus pada pengembangan dan penerapan strategi untuk mengurangi kemungkinan terjadinya risiko dan/atau dampak yang mungkin ditimbulkannya. Tujuannya adalah untuk mengelola risiko dengan cara yang paling efektif, sehingga dampak negatif terhadap organisasi dapat diminimalkan. Ada empat strategi utama dalam mitigasi risiko: penghindaran risiko, pengurangan risiko, transfer risiko, dan penerimaan risiko.

Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang masing-masing strategi:

a. Penghindaran Risiko (*Risk Avoidance*)

- 1) Definisi: Penghindaran risiko melibatkan mengambil tindakan untuk menghindari aktivitas atau situasi yang dapat menimbulkan risiko. Ini berarti menghapus sumber risiko sepenuhnya atau tidak terlibat dalam aktivitas yang mengandung risiko tersebut.
- 2) Contoh Penerapan: Sebuah perusahaan mungkin memutuskan untuk tidak memasuki pasar baru jika analisis menunjukkan bahwa pasar tersebut terlalu berisiko karena ketidakstabilan politik atau regulasi yang tidak jelas. Dengan menghindari pasar tersebut, perusahaan menghindari potensi kerugian yang signifikan.

- 3) Kelebihan: Strategi ini memastikan bahwa risiko tertentu tidak akan terjadi karena sumber risiko dihilangkan.
- 4) Kekurangan: Penghindaran risiko dapat mengakibatkan hilangnya peluang bisnis yang mungkin menguntungkan jika dikelola dengan baik.
- b. Pengurangan Risiko (*Risk Reduction*)
 - 1) Definisi: Pengurangan risiko melibatkan pengambilan tindakan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya risiko atau mengurangi dampak jika risiko tersebut terjadi. Ini bisa dilakukan melalui perubahan proses, peningkatan kontrol, atau penerapan langkah-langkah keamanan tambahan.
 - 2) Contoh Penerapan: Sebuah perusahaan manufaktur mungkin meningkatkan standar keselamatan di pabriknya untuk mengurangi kemungkinan kecelakaan kerja. Ini bisa melibatkan pelatihan keselamatan yang lebih ketat, pengawasan lebih lanjut, atau peningkatan peralatan keamanan.
 - 3) Kelebihan: Pengurangan risiko memungkinkan organisasi untuk tetap terlibat dalam aktivitas yang mengandung risiko, tetapi dengan tingkat risiko yang lebih rendah.

Kekurangan: Strategi ini mungkin memerlukan investasi tambahan dalam bentuk biaya, waktu, dan sumber daya untuk mengimplementasikan langkah-langkah mitigasi.

5. Transfer Risiko (*Risk Transfer*)

Definisi: Transfer risiko melibatkan pemindahan risiko dari satu pihak ke pihak lain. Ini sering dilakukan melalui kontrak, asuransi, atau kemitraan di mana pihak lain menerima sebagian atau seluruh risiko.

Contoh Penerapan: Perusahaan mungkin membeli asuransi untuk melindungi dari kerugian akibat kebakaran, pencurian, atau gangguan bisnis. Dalam hal ini, risiko kerugian finansial ditransfer ke perusahaan asuransi.

Kelebihan: Transfer risiko memungkinkan organisasi untuk melindungi diri dari kerugian finansial besar tanpa harus menghilangkan atau mengurangi risiko itu sendiri.

Kekurangan: Transfer risiko sering kali memerlukan biaya, seperti premi asuransi, dan mungkin tidak mencakup semua aspek risiko.

6. Penerimaan Risiko (*Risk Acceptance*)

Definisi: Penerimaan risiko adalah strategi di mana organisasi memutuskan untuk menerima risiko tanpa mengambil tindakan khusus untuk mengurangi kemungkinan atau dampaknya. Ini biasanya dilakukan ketika biaya untuk mengurangi atau mentransfer risiko lebih tinggi daripada potensi kerugian dari risiko itu sendiri.

Contoh Penerapan: Sebuah perusahaan teknologi kecil mungkin memutuskan untuk menerima risiko kerusakan kecil pada peralatan mereka karena biaya untuk asuransi atau penggantian sangat rendah dibandingkan dengan potensi kerugian.

Kelebihan: Penerimaan risiko adalah strategi yang hemat biaya dan dapat diterapkan ketika risiko dinilai sebagai sesuatu yang dapat ditoleransi.

Kekurangan: Jika risiko yang diterima ternyata lebih besar dari perkiraan, perusahaan mungkin menghadapi dampak negatif yang signifikan.

a. Implementasi Strategi Mitigasi

Implementasi strategi mitigasi risiko melibatkan beberapa langkah penting:

- 1) Penilaian Sumber Daya: Menentukan sumber daya yang diperlukan untuk mengimplementasikan strategi mitigasi, termasuk tenaga kerja, waktu, dan anggaran.
- 2) Pembuatan Rencana Tindakan: Mengembangkan rencana tindakan yang terperinci untuk setiap risiko yang diidentifikasi, termasuk siapa yang bertanggung jawab dan kapan tindakan harus diselesaikan.

Pelaksanaan dan Pemantauan: Mengimplementasikan tindakan yang direncanakan dan memantau efektivitasnya secara terus-menerus. Ini termasuk mengevaluasi apakah strategi mitigasi bekerja seperti yang diharapkan atau memerlukan penyesuaian.

Pembaruan Berkelanjutan: Risiko dan kondisi bisnis dapat berubah seiring waktu, sehingga strategi mitigasi juga perlu diperbarui secara berkala untuk tetap efektif.

Dengan mengembangkan dan menerapkan strategi mitigasi yang tepat, organisasi dapat meminimalkan dampak negatif dari risiko dan memastikan kelangsungan operasi mereka, bahkan dalam situasi yang tidak pasti.

7. Pemantauan dan Review

Pengelolaan risiko adalah proses berkelanjutan yang memerlukan pemantauan dan peninjauan rutin untuk memastikan efektivitas strategi mitigasi yang diterapkan.

Pemantauan dan Review adalah tahap akhir namun sangat penting dalam proses pengelolaan risiko. Tahap ini memastikan bahwa strategi mitigasi yang telah diterapkan berfungsi dengan baik dan tetap relevan seiring dengan perubahan dalam lingkungan bisnis. Karena risiko dapat berubah seiring waktu, pemantauan dan peninjauan yang berkelanjutan sangat penting untuk mempertahankan efektivitas pengelolaan risiko dan untuk membuat penyesuaian jika diperlukan.

Berikut adalah komponen utama dari pemantauan dan review dalam pengelolaan risiko:

a. Pemantauan Berkelanjutan

1) Tujuan Pemantauan: Pemantauan berkelanjutan bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan dalam risiko yang mungkin terjadi setelah penerapan strategi mitigasi. Ini termasuk memantau indikator kinerja utama (KPI) yang terkait dengan risiko dan mitigasinya, serta mendeteksi tanda-tanda awal dari risiko baru atau perubahan pada risiko yang sudah ada.

2) Proses Pemantauan:

- a) Pemantauan *Real-Time*: Dalam beberapa kasus, risiko perlu dipantau secara real-time, terutama risiko yang memiliki dampak langsung dan signifikan terhadap operasi bisnis, seperti fluktuasi pasar atau masalah keamanan siber.
- b) Pemantauan Periodik: Untuk risiko yang lebih stabil atau yang dampaknya lebih kecil, pemantauan mungkin dilakukan secara periodik, misalnya bulanan atau kuartalan. Ini dapat mencakup peninjauan laporan rutin, audit internal, dan pembaruan reguler dari tim yang bertanggung jawab atas manajemen risiko.

b. Review Rutin

- 1) Peninjauan Efektivitas: Review rutin dilakukan untuk mengevaluasi apakah strategi mitigasi yang diterapkan efektif dalam mengurangi kemungkinan dan dampak risiko. Jika ditemukan bahwa strategi tersebut tidak memberikan hasil yang diharapkan, perlu dilakukan penyesuaian.
- 2) Evaluasi Ulang Risiko: Selama proses review, penting untuk mengevaluasi kembali risiko yang dihadapi organisasi, termasuk risiko baru yang mungkin muncul dan perubahan pada risiko yang ada. Ini bisa terjadi karena perubahan dalam faktor eksternal seperti lingkungan regulasi, teknologi, atau dinamika pasar.
- 3) Penyesuaian Strategi: Berdasarkan temuan dari review, strategi mitigasi dapat disesuaikan. Misalnya, jika risiko baru muncul, strategi baru mungkin perlu dikembangkan. Jika risiko tertentu telah menurun, mungkin saja sumber daya dapat dialihkan ke area lain yang lebih membutuhkan perhatian.

c. Pelaporan dan Dokumentasi

- 1) Pelaporan Berkala: Hasil dari pemantauan dan review harus dilaporkan secara berkala kepada

manajemen puncak dan, jika relevan, kepada pemangku kepentingan lainnya. Pelaporan ini harus mencakup perkembangan terbaru terkait risiko, efektivitas strategi mitigasi, dan rekomendasi untuk tindakan lebih lanjut.

- 2) Dokumentasi: Semua aktivitas pemantauan dan review harus didokumentasikan dengan baik. Ini penting tidak hanya untuk akuntabilitas tetapi juga sebagai referensi di masa depan. Dokumentasi ini mencakup laporan pemantauan, hasil review, keputusan yang diambil, dan tindakan yang diimplementasikan.

d. Pembelajaran dan Peningkatan Berkelanjutan

- 1) Pembelajaran dari Pengalaman: Organisasi harus belajar dari hasil pemantauan dan review sebelumnya untuk memperbaiki proses pengelolaan risiko di masa depan. Ini termasuk mengidentifikasi apa yang berhasil dan apa yang tidak, serta menerapkan pelajaran tersebut dalam pengelolaan risiko yang sedang berjalan.
- 2) Peningkatan Proses: Proses pengelolaan risiko harus ditingkatkan secara terus-menerus berdasarkan temuan dari pemantauan dan review. Ini bisa melibatkan perbaikan dalam metodologi identifikasi risiko, teknik analisis, alat pemantauan, atau prosedur mitigasi.
- 3) Penyesuaian Strategi: Sebagai bagian dari peningkatan berkelanjutan, strategi mitigasi yang tidak lagi relevan atau kurang efektif harus disesuaikan atau diganti dengan pendekatan yang lebih sesuai dengan kondisi terbaru.

e. Respon terhadap Perubahan

- 1) Adaptasi terhadap Perubahan Lingkungan: Lingkungan bisnis yang dinamis berarti risiko dapat berubah dengan cepat. Oleh karena itu, proses pemantauan dan review harus cukup fleksibel untuk menyesuaikan diri dengan perubahan

tersebut. Ini termasuk respons cepat terhadap perubahan regulasi, inovasi teknologi, atau perubahan dalam kondisi pasar.

- 2) Keterlibatan Tim Manajemen Risiko: Tim manajemen risiko harus terus terlibat dalam seluruh proses untuk memastikan bahwa perubahan apa pun dalam profil risiko segera diidentifikasi dan ditangani. Komunikasi yang baik antara tim manajemen risiko dan unit bisnis lainnya sangat penting untuk keberhasilan tahap ini.

Pemantauan dan review adalah proses berkelanjutan yang memastikan pengelolaan risiko tetap efektif dan relevan dengan kondisi yang selalu berubah. Tanpa pemantauan dan peninjauan rutin, strategi mitigasi yang baik sekalipun bisa menjadi usang atau tidak efektif. Dengan menjaga proses ini berjalan dengan baik, organisasi dapat mengelola risiko secara proaktif dan mempertahankan ketahanan bisnisnya dalam jangka panjang.

4.2.3 Manfaat Pengelolaan Risiko

1. Peningkatan Keputusan Bisnis

Pengelolaan risiko yang efektif membantu manajemen membuat keputusan yang lebih baik dengan pemahaman yang lebih baik tentang risiko dan peluang.

Peningkatan Keputusan Bisnis melalui pengelolaan risiko yang efektif adalah salah satu manfaat utama yang dapat diperoleh organisasi. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang risiko dan peluang, manajemen dapat membuat keputusan yang lebih terinformasi, strategis, dan sesuai dengan tujuan jangka panjang perusahaan. Berikut adalah bagaimana pengelolaan risiko yang efektif berkontribusi pada peningkatan keputusan bisnis:

a. Pemahaman yang Lebih Baik tentang Risiko dan Peluang

- 1) Identifikasi Risiko: Pengelolaan risiko yang baik dimulai dengan identifikasi risiko yang komprehensif. Ini memungkinkan manajemen untuk memahami potensi ancaman yang mungkin

dihadapi, baik dari faktor internal maupun eksternal. Dengan mengetahui risiko sejak awal, perusahaan dapat mengantisipasi masalah sebelum mereka berkembang menjadi krisis.

- 2) Analisis Peluang: Selain risiko, pengelolaan risiko juga melibatkan analisis peluang yang mungkin muncul dari situasi tertentu. Misalnya, perubahan dalam regulasi atau teknologi baru mungkin menghadirkan risiko, tetapi juga membuka peluang bagi inovasi atau pasar baru.

b. Pengurangan Ketidakpastian

- 1) Data dan Informasi: Proses pengelolaan risiko melibatkan pengumpulan dan analisis data yang mendalam. Dengan informasi yang lebih lengkap, manajemen dapat mengurangi ketidakpastian dalam pengambilan keputusan. Data yang akurat dan analisis yang baik memungkinkan prediksi yang lebih andal tentang dampak dari berbagai keputusan bisnis.
- 2) Perencanaan Kontinjensi: Dengan memahami berbagai skenario risiko, manajemen dapat merencanakan langkah-langkah kontinjensi yang memastikan kelangsungan bisnis dalam berbagai situasi. Ini menciptakan lingkungan pengambilan keputusan yang lebih stabil dan terkendali.

c. Prioritas Strategis

- 1) Alokasi Sumber Daya: Pengelolaan risiko membantu dalam menentukan prioritas dengan mengidentifikasi risiko mana yang paling kritis bagi organisasi. Dengan demikian, manajemen dapat mengalokasikan sumber daya seperti waktu, uang, dan tenaga ke area yang paling membutuhkan perhatian. Ini mencegah pemborosan sumber daya pada risiko yang kurang signifikan.
- 2) Fokus pada Tujuan Jangka Panjang: Dengan memahami risiko yang dapat mengganggu tujuan jangka panjang perusahaan, manajemen dapat

membuat keputusan yang lebih selaras dengan visi dan misi organisasi. Ini membantu memastikan bahwa keputusan yang diambil tidak hanya mengatasi masalah jangka pendek tetapi juga mendukung keberlanjutan jangka panjang.

d. Peningkatan Responsivitas dan Adaptasi

1) Proses Dinamis: Pengelolaan risiko yang efektif tidak hanya berfokus pada pengelolaan risiko statis tetapi juga memungkinkan perusahaan untuk beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan lingkungan. Ini memastikan bahwa manajemen dapat merespons risiko baru atau yang berubah dengan cepat dan efektif.

2) Peningkatan Kewaspadaan: Dengan pemantauan risiko yang berkelanjutan, manajemen dapat lebih waspada terhadap tanda-tanda awal dari masalah yang mungkin timbul. Ini memungkinkan keputusan yang lebih cepat dan tepat waktu, sebelum risiko berkembang menjadi masalah yang lebih besar.

e. Pengurangan Biaya dan Penghindaran Krisis

1) Mitigasi Proaktif: Dengan mengidentifikasi dan mengelola risiko secara proaktif, perusahaan dapat menghindari biaya yang terkait dengan penanganan krisis. Misalnya, risiko operasional yang dikelola dengan baik dapat mencegah gangguan yang mahal dalam rantai pasokan atau produksi.

2) Penghematan melalui Efisiensi: Pengelolaan risiko yang efektif juga dapat mengarah pada efisiensi yang lebih besar. Misalnya, dengan mengidentifikasi risiko dalam proses produksi, perusahaan dapat mengoptimalkan proses tersebut dan mengurangi pemborosan, yang pada akhirnya menghemat biaya.

f. Meningkatkan Kepercayaan Pemangku Kepentingan

1) Keputusan Transparan: Pengelolaan risiko yang baik biasanya disertai dengan dokumentasi dan pelaporan yang jelas tentang proses pengambilan

keputusan. Ini meningkatkan transparansi dan membangun kepercayaan di antara pemangku kepentingan, termasuk investor, pelanggan, dan regulator.

- 2) Reputasi yang Lebih Baik: Perusahaan yang secara aktif mengelola risiko cenderung dipandang lebih bertanggung jawab dan dapat dipercaya. Ini bisa meningkatkan reputasi perusahaan, yang merupakan aset penting dalam keputusan bisnis, terutama yang berkaitan dengan kemitraan dan investasi.

g. Keselarasan dengan Kepatuhan dan Regulasi

- 1) Kepatuhan Proaktif: Pengelolaan risiko yang efektif sering kali melibatkan identifikasi dan pengelolaan risiko terkait kepatuhan terhadap regulasi. Ini memastikan bahwa keputusan bisnis tidak hanya menguntungkan secara ekonomi tetapi juga sesuai dengan peraturan yang berlaku, menghindari potensi sanksi atau kerugian hukum.
- 2) Perencanaan Berbasis Regulasi: Dengan memahami risiko yang terkait dengan perubahan regulasi, manajemen dapat membuat keputusan yang tidak hanya menghindari pelanggaran tetapi juga memanfaatkan peluang yang muncul dari perubahan regulasi tersebut.

Pengelolaan risiko yang efektif membantu manajemen dalam membuat keputusan yang lebih baik dengan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang risiko dan peluang yang dihadapi oleh organisasi. Melalui identifikasi yang tepat, pengurangan ketidakpastian, prioritas yang jelas, responsivitas yang ditingkatkan, pengurangan biaya, peningkatan kepercayaan pemangku kepentingan, dan keselarasan dengan kepatuhan, pengelolaan risiko berperan sebagai fondasi dalam pengambilan keputusan yang strategis dan bertanggung jawab. Dengan demikian, organisasi dapat mencapai tujuannya dengan lebih efisien dan berkelanjutan.

2. Perlindungan Aset dan Reputasi

Dengan mengidentifikasi dan mengelola risiko, organisasi dapat melindungi aset mereka dan menjaga reputasi.

Perlindungan Aset dan Reputasi adalah salah satu aspek paling penting dalam pengelolaan risiko yang efektif. Aset fisik, finansial, intelektual, dan reputasi merupakan pilar utama yang mendukung kelangsungan dan pertumbuhan organisasi. Risiko yang tidak teridentifikasi atau tidak dikelola dengan baik dapat mengancam aset-aset ini dan merusak reputasi perusahaan di mata publik, pelanggan, dan pemangku kepentingan lainnya. Berikut adalah bagaimana pengelolaan risiko yang baik membantu melindungi aset dan menjaga reputasi organisasi:

a. Perlindungan Aset Fisik dan Finansial

- 1) Identifikasi Risiko Fisik: Aset fisik seperti fasilitas, peralatan, dan inventaris rentan terhadap berbagai risiko, termasuk bencana alam, kebakaran, pencurian, dan vandalisme. Pengelolaan risiko yang efektif melibatkan identifikasi risiko-risiko ini dan penerapan langkah-langkah perlindungan, seperti asuransi, pengawasan keamanan, dan sistem deteksi dini.
- 2) Manajemen Risiko Keuangan: Risiko finansial seperti fluktuasi mata uang, kredit macet, dan volatilitas pasar dapat merusak stabilitas keuangan perusahaan. Dengan mengidentifikasi dan mengelola risiko-risiko ini, seperti melalui lindung nilai atau diversifikasi portofolio, organisasi dapat melindungi aset keuangannya dan mempertahankan kesehatan keuangan yang stabil.
- 3) Rencana Kontinjensi: Memiliki rencana kontinjensi yang mencakup skenario seperti gangguan operasional atau kegagalan teknologi membantu melindungi aset dengan memastikan bahwa bisnis dapat terus berjalan atau pulih dengan cepat setelah insiden.

b. Perlindungan Aset Intelektual

- 1) Paten, Merek Dagang, dan Hak Cipta: Aset intelektual seperti paten, merek dagang, dan hak cipta sangat berharga bagi perusahaan, terutama dalam industri yang berbasis inovasi. Mengidentifikasi risiko terhadap aset-aset ini, seperti pelanggaran hak kekayaan intelektual atau pencurian ide, dan mengambil langkah-langkah untuk melindunginya adalah kunci untuk mempertahankan keunggulan kompetitif.
 - 2) Keamanan Data: Informasi dan data pelanggan, serta rahasia dagang, adalah bagian dari aset intelektual yang harus dilindungi dari risiko seperti peretasan, kebocoran data, dan serangan siber. Implementasi keamanan siber yang kuat dan kebijakan perlindungan data dapat mencegah kerugian besar yang terkait dengan pelanggaran keamanan.
- c. Perlindungan Reputasi
- 1) Risiko Reputasi: Reputasi organisasi dapat dengan cepat rusak oleh insiden seperti skandal etika, kegagalan produk, atau tanggapan yang tidak memadai terhadap krisis. Mengidentifikasi risiko-risiko ini sebelumnya memungkinkan organisasi untuk mengambil langkah pencegahan dan mengelola komunikasi dengan efektif saat menghadapi situasi yang berpotensi merusak reputasi.
 - 2) Kepatuhan dan Tata Kelola yang Baik: Menjaga kepatuhan terhadap hukum dan peraturan, serta menerapkan tata kelola yang baik, adalah cara utama untuk melindungi reputasi perusahaan. Risiko hukum dan regulasi, jika tidak dikelola dengan baik, dapat mengakibatkan denda, litigasi, dan kerusakan reputasi yang luas.
 - 3) Manajemen Krisis: Mengembangkan dan menerapkan rencana manajemen krisis adalah bagian penting dari pengelolaan risiko yang fokus pada perlindungan reputasi.

Dalam situasi krisis, seperti bencana alam atau kegagalan produk, kemampuan organisasi untuk merespons dengan cepat dan efektif sangat penting untuk menjaga reputasi.

d. Penguatan Kepercayaan Publik dan Pemangku Kepentingan

1) Transparansi dan Akuntabilitas: Mengelola risiko dengan cara yang transparan dan bertanggung jawab meningkatkan kepercayaan pemangku kepentingan, termasuk pelanggan, investor, dan mitra bisnis. Reputasi perusahaan sering kali dibangun atas dasar kepercayaan ini, yang sangat bergantung pada kemampuan organisasi untuk mengelola risiko dengan baik.

2) Keterlibatan Pemangku Kepentingan: Melibatkan pemangku kepentingan dalam proses pengelolaan risiko, misalnya melalui pelaporan berkala dan dialog terbuka, membantu memperkuat hubungan dan meningkatkan persepsi positif terhadap perusahaan.

e. Peningkatan Nilai Perusahaan

1) Investor dan Pasar Modal: Perusahaan yang secara proaktif mengelola risiko sering kali dipandang lebih stabil dan dapat diandalkan oleh investor. Perlindungan aset yang baik dan reputasi yang kuat dapat meningkatkan nilai saham perusahaan dan mempermudah akses ke modal di pasar keuangan.

2) Keunggulan Kompetitif: Perusahaan yang dikenal karena reputasi yang baik dan kemampuan untuk melindungi asetnya cenderung memiliki keunggulan kompetitif di pasar. Ini tidak hanya membantu dalam mempertahankan pelanggan tetapi juga dalam menarik talenta dan mitra bisnis yang berkualitas.

f. Contoh Praktis dalam Perlindungan Aset dan Reputasi

1) Industri Manufaktur: Sebuah perusahaan manufaktur besar yang mengidentifikasi risiko operasional dan mengimplementasikan program

pemeliharaan preventif untuk melindungi peralatan mahalny. Selain itu, mereka mengembangkan rencana manajemen krisis untuk memastikan bahwa mereka dapat merespons cepat terhadap potensi gangguan produksi, sehingga melindungi reputasi mereka sebagai produsen yang handal.

- 2) Perusahaan Teknologi: Sebuah perusahaan teknologi yang melindungi kekayaan intelektualnya melalui pendaftaran paten global dan investasi besar dalam keamanan siber untuk melindungi data pengguna, yang pada gilirannya memperkuat reputasinya sebagai pemimpin yang inovatif dan dapat dipercaya di industri.

Mengidentifikasi dan mengelola risiko secara efektif adalah kunci untuk melindungi aset dan menjaga reputasi organisasi. Aset fisik, finansial, intelektual, dan reputasi adalah elemen yang sangat penting bagi kesuksesan jangka panjang organisasi. Dengan mengelola risiko yang terkait dengan aset-aset ini dan mengambil langkah-langkah yang tepat untuk melindunginya, organisasi tidak hanya melindungi diri dari potensi kerugian tetapi juga memperkuat posisi mereka di pasar dan meningkatkan nilai perusahaan di mata pemangku kepentingan.

3. Kepatuhan Regulasi

Banyak industri memiliki persyaratan regulasi yang mengharuskan pengelolaan risiko. Kepatuhan ini dapat menghindarkan perusahaan.

Kepatuhan Regulasi adalah aspek penting dalam pengelolaan risiko yang mencakup memenuhi persyaratan hukum dan peraturan yang berlaku di industri tertentu. Kepatuhan terhadap regulasi tidak hanya melindungi perusahaan dari potensi sanksi hukum tetapi juga menjaga reputasi, meningkatkan efisiensi operasional, dan memastikan keberlanjutan jangka panjang. Dalam banyak industri,

pengelolaan risiko adalah bagian integral dari kepatuhan regulasi, dan perusahaan harus proaktif dalam mengidentifikasi dan mengelola risiko yang berkaitan dengan regulasi tersebut. Berikut adalah bagaimana kepatuhan regulasi terkait dengan pengelolaan risiko dan bagaimana hal itu melindungi perusahaan dari sanksi hukum:

a. Pentingnya Kepatuhan Regulasi dalam Pengelolaan Risiko

- 1) Persyaratan Hukum yang Ketat: Banyak industri, seperti keuangan, kesehatan, energi, dan manufaktur, diatur oleh peraturan yang ketat yang mengharuskan perusahaan untuk mengelola risiko secara efektif. Regulasi ini bisa mencakup segala hal mulai dari keamanan data dan perlindungan lingkungan hingga kesehatan dan keselamatan kerja.
- 2) Kerangka Pengelolaan Risiko: Regulasi sering kali mensyaratkan perusahaan untuk mengembangkan dan menerapkan kerangka pengelolaan risiko yang komprehensif, yang mencakup identifikasi risiko, analisis, mitigasi, pemantauan, dan pelaporan. Misalnya, di industri keuangan, peraturan Basel III mengharuskan bank untuk mengelola risiko kredit, pasar, dan operasional secara ketat.
- 3) Audit dan Pemeriksaan: Banyak regulasi juga mengharuskan perusahaan untuk menjalani audit atau pemeriksaan rutin untuk memastikan kepatuhan. Kegagalan dalam memenuhi persyaratan ini dapat mengakibatkan sanksi, denda, atau tindakan hukum lainnya.

b. Risiko yang Berkaitan dengan Ketidakpatuhan

- 1) Sanksi Hukum dan Denda: Ketidakpatuhan terhadap regulasi dapat mengakibatkan sanksi hukum yang signifikan, termasuk denda yang besar, penangguhan operasi, atau bahkan penutupan bisnis. Misalnya, di sektor farmasi, ketidakpatuhan terhadap regulasi keamanan produk bisa

mengakibatkan penarikan produk dan denda yang mahal.

- 2) Tuntutan Hukum: Ketidakpatuhan juga dapat menyebabkan perusahaan menghadapi tuntutan hukum dari pihak ketiga, seperti pelanggan, pemasok, atau bahkan pemerintah. Hal ini tidak hanya merugikan secara finansial tetapi juga dapat merusak reputasi perusahaan.
- 3) Kerugian Reputasi: Reputasi perusahaan bisa sangat terpengaruh oleh ketidakpatuhan terhadap regulasi, terutama jika ketidakpatuhan tersebut menyebabkan kerugian bagi konsumen atau masyarakat luas. Contohnya, pelanggaran data yang melibatkan informasi pribadi pelanggan dapat menyebabkan hilangnya kepercayaan dan loyalitas pelanggan.

c. Manfaat Kepatuhan Regulasi yang Efektif

- 1) Menghindari Sanksi: Dengan mengelola risiko yang berkaitan dengan kepatuhan secara efektif, perusahaan dapat menghindari sanksi hukum, denda, dan biaya terkait litigasi. Ini tidak hanya melindungi keuangan perusahaan tetapi juga memastikan kelangsungan operasional.
- 2) Keunggulan Kompetitif: Perusahaan yang secara proaktif mengelola risiko kepatuhan sering kali memiliki keunggulan kompetitif. Kepatuhan yang baik dapat meningkatkan reputasi perusahaan, memperkuat hubungan dengan pemangku kepentingan, dan membuka peluang bisnis baru, terutama dalam lingkungan yang sangat diatur.
- 3) Peningkatan Kepercayaan Pemangku Kepentingan: Kepatuhan terhadap regulasi menunjukkan bahwa perusahaan beroperasi dengan standar tinggi dan bertanggung jawab secara hukum. Ini dapat meningkatkan kepercayaan di antara pelanggan, investor, mitra bisnis, dan regulator.

d. Strategi untuk Memastikan Kepatuhan Regulasi

- 1) Identifikasi dan Pemahaman Regulasi yang Berlaku: Langkah pertama dalam memastikan kepatuhan adalah mengidentifikasi semua regulasi yang relevan dengan industri dan operasi perusahaan. Ini mencakup memahami detail spesifik dari setiap regulasi, termasuk persyaratan dan tenggat waktu.
 - 2) Pengembangan Kebijakan Internal: Setelah regulasi yang relevan diidentifikasi, perusahaan harus mengembangkan kebijakan dan prosedur internal yang memastikan kepatuhan terhadap regulasi tersebut. Ini bisa mencakup prosedur pengelolaan risiko, pelatihan karyawan, dan pemantauan berkelanjutan.
 - 3) Pemantauan dan Audit Kepatuhan: Pemantauan berkelanjutan dan audit internal adalah langkah penting untuk memastikan bahwa kebijakan kepatuhan diikuti dan efektif. Ini mencakup memeriksa proses dan prosedur untuk memastikan bahwa mereka mematuhi regulasi yang berlaku dan memperbaiki ketidaksesuaian yang ditemukan.
- e. Implementasi Teknologi dalam Kepatuhan Regulasi
- 1) Sistem Manajemen Kepatuhan: Banyak perusahaan menggunakan sistem manajemen kepatuhan (*Compliance Management Systems - CMS*) untuk membantu memantau dan mengelola kepatuhan terhadap regulasi. Sistem ini dapat membantu dalam pelacakan perubahan regulasi, pelaporan, dan audit.
 - 2) Otomatisasi Proses: Otomatisasi proses tertentu, seperti pelaporan regulasi dan audit internal, dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam kepatuhan. Teknologi ini juga dapat membantu perusahaan merespons perubahan regulasi dengan cepat.
 - 3) Keamanan Data dan Privasi: Dalam era digital, regulasi terkait keamanan data dan privasi menjadi sangat penting. Implementasi teknologi keamanan

yang kuat dan kebijakan privasi yang ketat adalah bagian penting dari strategi kepatuhan.

f. Studi Kasus Kepatuhan Regulasi

- 1) Industri Perbankan: Bank global sering kali dihadapkan pada regulasi yang ketat di berbagai yurisdiksi. Misalnya, kepatuhan terhadap aturan Anti-Pencucian Uang (*Anti-Money Laundering* - AML) dan Peraturan Perlindungan Data Umum (*General Data Protection Regulation* - GDPR) di Uni Eropa membutuhkan manajemen risiko yang canggih untuk menghindari denda besar dan kerugian reputasi.
- 2) Industri Energi: Perusahaan energi yang beroperasi di daerah yang sensitif secara lingkungan diharuskan untuk mematuhi regulasi yang ketat terkait perlindungan lingkungan. Kegagalan dalam mematuhi regulasi ini dapat menyebabkan kerugian besar, seperti denda atau penghentian operasi.

Kepatuhan regulasi adalah komponen penting dalam pengelolaan risiko yang membantu perusahaan menghindari sanksi hukum, denda, dan kerugian reputasi. Dengan mengidentifikasi dan mengelola risiko yang terkait dengan regulasi secara efektif, perusahaan dapat memastikan bahwa mereka memenuhi semua persyaratan hukum yang berlaku dan menghindari potensi konsekuensi negatif yang dapat merusak operasional dan reputasi mereka. Kepatuhan yang baik juga dapat memberikan keunggulan kompetitif dan meningkatkan kepercayaan pemangku kepentingan, yang semuanya berkontribusi pada keberhasilan jangka panjang perusahaan.

4.3 Keberlanjutan

4.3.1 Definisi dan Konsep Dasar

Keberlanjutan adalah pendekatan yang berupaya memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Konsep ini

meliputi tiga pilar utama: ekonomi, lingkungan, dan sosial, yang sering dikenal sebagai "*Triple Bottom Line*."

4.3.2 Praktik Keberlanjutan dalam Bisnis

1. Keberlanjutan Ekonomi
Fokus pada penciptaan nilai jangka panjang bagi pemegang saham dan pemangku kepentingan lainnya. Ini melibatkan praktik bisnis yang bertanggung jawab secara finansial dan etis.
2. Keberlanjutan Lingkungan
Melibatkan pengelolaan sumber daya alam secara efisien dan bertanggung jawab untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Contoh praktik ini termasuk penggunaan energi terbarukan, pengurangan emisi karbon, dan manajemen limbah.
3. Keberlanjutan Sosial
Mengacu pada tanggung jawab sosial perusahaan (CSR) dan memastikan kesejahteraan karyawan, komunitas, dan masyarakat luas. Ini mencakup praktik-praktik seperti menciptakan lingkungan kerja yang adil, mendukung pendidikan, dan berkontribusi pada kesejahteraan masyarakat.

4.3.3 Manfaat Keberlanjutan

1. Keunggulan Kompetitif
Bisnis yang menerapkan praktik keberlanjutan sering kali memiliki keunggulan kompetitif, seperti reputasi yang lebih baik dan loyalitas pelanggan yang meningkat.
2. Efisiensi Operasional
Praktik keberlanjutan dapat mengarah pada peningkatan efisiensi operasional dan pengurangan biaya, misalnya melalui pengurangan penggunaan energi dan bahan baku.
3. Akses ke Modal
Investor dan lembaga keuangan semakin mempertimbangkan faktor keberlanjutan dalam keputusan investasi mereka, sehingga perusahaan yang berkelanjutan lebih mudah mengakses modal.

4.4 Integrasi Pengelolaan Risiko dan Keberlanjutan

4.4.1 Kaitan antara Risiko dan Keberlanjutan

Pengelolaan risiko dan keberlanjutan memiliki tujuan yang sama yaitu melindungi dan meningkatkan nilai organisasi dalam jangka panjang. Risiko yang tidak dikelola dengan baik dapat menghambat pencapaian tujuan keberlanjutan. Sebaliknya, praktik keberlanjutan yang efektif dapat mengurangi risiko dan meningkatkan ketahanan organisasi.

4.4.2 Strategi Integrasi

1. Pengembangan Kebijakan yang Terpadu
Mengintegrasikan kebijakan pengelolaan risiko dan keberlanjutan dalam strategi bisnis utama untuk memastikan keselarasan tujuan dan praktik.
2. Pelatihan dan Kesadaran
Meningkatkan kesadaran dan pelatihan bagi karyawan mengenai pentingnya pengelolaan risiko dan keberlanjutan. Ini memastikan bahwa semua anggota organisasi memahami peran mereka dalam mendukung tujuan ini.
3. Pengukuran dan Pelaporan
Mengembangkan metrik untuk mengukur kinerja dalam pengelolaan risiko dan keberlanjutan, serta melaporkan kemajuan kepada pemangku kepentingan. Transparansi dalam pelaporan dapat meningkatkan kepercayaan dan reputasi perusahaan.

4.4.3 Contoh Kasus

1. Contoh Kasus 1
Perusahaan energi terbarukan yang mengelola risiko terkait perubahan regulasi dan harga energi sambil menerapkan praktik keberlanjutan untuk mengurangi emisi karbon dan meningkatkan efisiensi energi.
2. Contoh Kasus 2
Perusahaan manufaktur yang mengidentifikasi risiko rantai pasokan dan mengambil langkah-langkah untuk memastikan keberlanjutan bahan baku, seperti dengan bermitra dengan pemasok yang memiliki sertifikasi lingkungan.

4.5 Tantangan dan Solusi

4.5.1 Tantangan

1. Kompleksitas dan Biaya
Mengintegrasikan pengelolaan risiko dan keberlanjutan bisa menjadi proses yang kompleks dan mahal. Organisasi sering kali menghadapi kesulitan dalam mengalokasikan sumber daya yang cukup untuk kedua inisiatif ini.
2. Perubahan Peraturan
Regulasi yang terus berubah, terutama terkait lingkungan dan keberlanjutan, dapat menambah tingkat ketidakpastian dan risiko bagi bisnis.
3. Kesadaran dan Komitmen
Kurangnya kesadaran dan komitmen dari pemangku kepentingan internal dan eksternal dapat menghambat implementasi strategi pengelolaan risiko dan keberlanjutan yang efektif.

4.5.2 Solusi

1. Pendekatan Bertahap
Mengadopsi pendekatan bertahap dan mengintegrasikan pengelolaan risiko dan keberlanjutan secara bertahap dalam strategi bisnis dapat membantu mengurangi kompleksitas dan biaya.
2. Kolaborasi dan Kemitraan
Berkolaborasi dengan pemerintah, lembaga non-pemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan mengembangkan solusi inovatif.
3. Penggunaan Teknologi
Memanfaatkan teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan risiko dan keberlanjutan. Contohnya termasuk penggunaan perangkat lunak manajemen risiko dan sistem pemantauan lingkungan.

4.6 Kesimpulan

Pengelolaan risiko dan keberlanjutan adalah dua elemen penting yang saling terkait dan saling mendukung dalam mencapai tujuan jangka panjang organisasi. Integrasi kedua konsep ini dapat memberikan manfaat yang signifikan, termasuk peningkatan reputasi, efisiensi operasional, dan akses ke modal. Meskipun terdapat tantangan, pendekatan yang strategis dan kolaboratif dapat membantu organisasi mengatasi hambatan dan mencapai kesuksesan yang berkelanjutan. Dalam dunia bisnis yang semakin dinamis dan kompleks, pengelolaan risiko dan keberlanjutan bukan lagi pilihan, melainkan kebutuhan yang harus dipenuhi untuk keberlangsungan dan pertumbuhan jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aven, T. (2016). *Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation*. European Journal of Operational Research, 253(1), 1-13.
- Hopkin, P. (2018). *Fundamentals of Risk Management: Understanding, Evaluating and Implementing Effective Risk Management*. Kogan Page Publishers.
- ISO 31000:2018. *Risk Management - Guidelines*. International Organization for Standardization (ISO).
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone Publishing.
- Dyllick, T., & Muff, K. (2016). *Clarifying the Meaning of Sustainable Business: Introducing a Typology from Business-as-Usual to True Business Sustainability*. Organization & Environment, 29(2), 156-174.
- WCED (World Commission on Environment and Development). (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.
- Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2014). *The Impact of Corporate Sustainability on Organizational Processes and Performance*. Management Science, 60(11), 2835-2857.
- Aven, T., & Renn, O. (2010). *Risk Management and Governance: Concepts, Guidelines and Applications*. Springer.
- Linnenluecke, M. K., & Griffiths, A. (2010). Corporate sustainability and organizational culture. *Journal of World Business*, 45(4), 357-366.
- Gordon, L. A., Loeb, M. P., & Tseng, C. Y. (2009). Enterprise risk management and firm performance: A contingency perspective. *Journal of Accounting and Public Policy*, 28(4), 301-327.
- Pritchard, C. L. (2014). *Risk Management: Concepts and Guidance*. CRC Press.
- Roca, L. C., & Searcy, C. (2012). An analysis of indicators disclosed in corporate sustainability reports. *Journal of Cleaner Production*, 20(1), 103-118.

ISO 14001:2015. *Environmental management systems - Requirements with guidance for use.* International Organization for Standardization (ISO).

BAB 5

MASA DEPAN PERTANIAN

5.1 Pendahuluan

Eksistensi pertanian menjadi hal yang urgen untuk senantiasa mendapatkan perhatian dalam upaya pengembangan dan kemajuan serta keberlanjutannya. Sektor pertanian yang pada masa orde lama tetap menjadi sektor prioritas yang menjadi bagian terpenting dalam menentukan arah kebijakan global mengalami reposisi atau pergeseran sejak memasuki masa orde baru sejak tahun 1970. Pertanian yang menjadi sektor basis dan prioritas pada masa orde lama telah digantikan oleh sektor industri yang mendukung perekonomian bangsa ini. Sektor pertanian tidak lagi menjadi prioritas dan pondasi ekonomi nasional namun hanya dijadikan sebagai *buffer* atau sektor penyangga dalam rangka menyukseskan proses industrialisasi yang saat ini dijadikan sebagai lokomotif penggerak pertumbuhan ekonomi. Sektor pertanian sebagai penyangga mengisyaratkan bahwa prioritas utama Orde Baru dalam mendukung sektor pertanian adalah meningkatkan produksi pangan secara cepat dan efisien tanpa gejolak politik. Pendekatan ini berbeda dengan program reforma agraria di masa Orde Lama yang menekankan pada redistribusi tanah. (Aziza, 2014). Orde Baru yang eksistensinya berporos pada sistem ekonomi kapitalistik cenderung meletakkan setiap kebijakan pembangunan pertanian dengan metode "jalan pintas" (*by-pass approach*) sehingga berdampak terhadap *sustainability* sektor pertanian. Hal ini kemudian menjadi antitesis kebijakan yang dikeluarkan pada masa orde reformasi saat ini. Contohnya kebijakan *green revolution* (revolusi hijau), telah berhasil membawa bangsa ini pada swasembada pangan tahun 1984 namun permasalahan ekologi yang dihasilkan sebagai dampak dari program tersebut saat ini menjadi fokus solusi yang terus di prioritaskan dalam setiap program dan kebijakan pada sektor pertanian. *Sustainable farming, go green, green economi, go organic* merupakan contoh kecil arah

kebijakan yang menjadi prioritas pembangunan pertanian sampai saat ini (Rosmalah, 2022). Masyarakat memiliki ekspektasi yang besar terhadap sektor pertanian untuk menjadi landasan dalam pemulihan ekonomi utamanya sejak krisis melanda Indonesia. Hal ini dikhawatirkan dapat menimbulkan kontra-produktif jika prinsip dan strategi kebijakan pembangunan tidak di diseminasi secara luas kepada masyarakat (Aziza, 2014). Lebih lanjut, bahwa pergeseran paradigma kebijakan sektor pertanian mengakibatkan terjadinya *missing link* dari periode satu ke periode lain dalam kegiatan pembangunan. Sektor pertanian direduksi hanya sebagai persoalan produksi, teknologi, dan harga tidak lagi dipandang dalam aspek menyeluruh sebagai satu sistem agribisnis yang memiliki subsistem yang saling menunjang dan berkaitan antara satu sama lain. Oleh karenanya, maka perbaikan peran sektor pertanian harus dipandang sebagai satu sistem yang menyeluruh serta sebagai alternatif sumber penghasilan petani yang tepat dan relevan serta mendesak untuk pertimbangan.

5.2 Perspektif Pengembangan Sektor Pertanian

Sektor pertanian merupakan sektor basis yang menjadi tumpuan kehidupan manusia karena menjadi penyedia bahan pangan yang dibutuhkan oleh masyarakat. Oleh karena itu maka sektor pertanian tidak terpisahkan dengan persoalan pangan sebab pangan adalah kebutuhan mendasar bagi manusia. Di Indonesia, beras masih menjadi pangan utama yang dikonsumsi sebagian besar masyarakat. Oleh karena itu, upaya pengembangan padi sebagai bahan baku beras menjadi hal penting untuk diperhatikan. Meski demikian, program peningkatan ketahanan pangan berbasis beras ini sebaiknya tetap memperhatikan aspek keberlanjutan ekologi (Pratama et al., 2021); (Dewi, 2018); (Council of Canadian Academies, 2014); (Gerlach & Loring, 2013); (Jr et al., 2010); (Rosmalah & Nurmaya, 2023); (Rosmalah et al., 2019).

Pembangunan pertanian mempunyai peran strategis bagi negara-negara berkembang maupun negara maju sehingga harus mendapat perhatian yang serius. Pemenuhan kebutuhan pangan masyarakat merupakan isu strategis yang menjadi sorotan apalagi jika dikaitkan dengan kebijakan sektor pertanian yang dinilai

kurang berpihak kepada petani lokal, bahkan sebagian petani ada yang menganggap kebijakan sektor pertanian saat ini seringkali kontradiksi dengan kebutuhan dan harapan petani. Upaya menciptakan kondisi ketahanan pangan dan menjamin kelestarian lingkungan (ekologis) adalah dua hal yang harus disatukan. Dalam kondisi saat ini, tantangan semakin berat dalam menghadirkan keduanya secara bersamaan (Rasminto & Ain, 2021);(Hirawan et al., 2020) sehingga perlu komitmen dari semua pihak untuk tetap berupaya mencapai ketahanan pangan tanpa merusak lingkungan ekologi. Saat ini masa depan sektor pertanian diarahkan pada pemanfaatan teknologi modern dan inovasi berbasis digital.



Gambar 5.1. Transformasi Pertanian 1.0 Menjadi 4.0

Pertanian 4.0 mewakili revolusi pertanian keempat yang menggunakan teknologi digital dan bergerak menuju sektor pertanian yang lebih cerdas, efisien, dan bertanggung jawab terhadap lingkungan. Teknologi pertanian telah muncul untuk meningkatkan keberlanjutan dan menemukan metode pertanian yang lebih efektif. Hal ini mencakup seluruh proses digitalisasi dan otomasi dalam bisnis dan kehidupan kita sehari-hari, termasuk Big Data, Artificial Intelligence (AI), robot, Internet of Things (IoT), serta virtual dan augmented reality. Kemajuan teknologi ini mempunyai dampak yang besar terhadap kehidupan kita. Dari sudut pandang

teknis, hal ini membawa kita pada pertanian presisi (Javaid et al., 2022).

Inovasi teknologi 4.0 dalam pembangunan sektor pertanian antara lain adanya Kalender Tanam (KATAM), sistem Informasi Pengawasan Tanaman Pangan (SI MANTAP), *smart greenhouse*, *smart farming*, *smart irrigation* dan traktor otomatis. Teknologi 4.0 dapat digunakan secara *on farm* dan *off farm* yang meliputi semua subsistem agribisnis yang merupakan inti dari sektor pertanian. Kesempatan petani untuk mengakses informasi yang berkaitan dengan peningkatan mutu dan produktifitas produk pertanian terbuka luas melalui Teknologi *mobile gadget*. Layanan informasi berbasis mobile akan sangat membantu petani pada saat petani membutuhkan akses informasi pertanian yang cepat berkaitan dengan pengadaan input produksi, budidaya, pengolahan serta pemasaran. Pembangunan pertanian berbasis pertanian digital menjadi arah pengembangan sektor pertanian di masa depan. Hal ini tentunya akan membutuhkan para petani muda yang melek teknologi. Agripreneur muda ini adalah potensi sekaligus mitra strategis yang akan membantu dalam memecahkan kendala distribusi serta persoalan pemasaran khususnya yang berkaitan dengan lemahnya akses pasar oleh petani selama ini. Upaya peningkatan dan pengembangan sektor pertanian dihadapkan pada proses adaptasi yang tidak mudah terutama bagi petani sebagai pelaku dalam proses produksi pertanian. Komponen pendukung dalam mewujudkan transformasi sektor pertanian antara lain keberadaan inovasi digital, sumber daya manusia dan dukungan kebijakan.

5.3 Keberadaan Inovasi Digital dan Inovasi Pola Tanam

Keberadaan inovasi digital pada dasarnya untuk mempermudah pekerjaan fisik yang selama ini banyak dilakukan dalam sistem pertanian tradisional. Penggunaan teknologi canggih bisa membuat pekerjaan lebih mudah dilakukan serta efisien dalam hal biaya, waktu, maupun tenaga. Transformasi pertanian 4.0 yang berbasis teknologi digital pada dasarnya akan menghasilkan

rencana kerja, data-data serta praktek kerja yang efektif, efisien serta berwawasan lingkungan.



Gambar 5.2. Pertanian Presisi (*smart farming*) Dan Regenerasi Petani

Era mekanisasi pertanian yang ditujukan dengan pemanfaatan mesin-mesin pertanian yang lebih canggih dan berbasis IoT menjadikan aktivitas pertanian lebih efektif, efisien serta waktu lebih singkat, sehingga diharapkan bisa memperpendek siklus produksi dan mengoptimalkan output produksi sehingga mendukung arah kebijakan pembangunan pertanian dan ketahanan pangan. 3 ciri utama pertanian modern yakni:

5.3.1 Pemanfaatan produk *Bioscience*

Perbaikan kualitas produksi dapat ditempuh melalui pemanfaatan produk bioteknologi yang memanfaatkan agen hayati serta rekayasa genetika untuk menghasilkan produk baru yang lebih berkualitas misalnya adanya bioteknologi dengan rekayasa genetika bisa menghasilkan varietas tanaman yang memiliki ketahanan terhadap hama dan penyakit tanaman, menghasilkan produk yang bernilai guzi lebih tinggi dan bisa meningkatkan produktivitas atau hasil usahatani yang dilakukan oleh petani. Pemanfaatan produk bioscience dalam sektor pertanian seperti kultur jaringan, high yielding varities, dan rekayasa lingkungan diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan produksi pertanian selama ini. Bioteknologi juga dapat menjadi solusi untuk menhsailkan produksi optimal dalam kondisi kerusakan lahan dan

rendahnya tingkat kesuburan lahan penyebab penurunan produksi. Bioteknologi akan membantu dalam penyelesaian masalah tersebut.

5.3.2 Mekanisasi Pertanian

Keberadaan Mekanisasi pertanian berupa alat dan mesin pertanian (alsintan) diharapkan mampu menjadi solusi bagi permasalahan dalam metode konvensional yang masih menggunakan tenaga manusia dalam seluruh proses usahatannya. Pertanian modern dapat membantu petani dalam hal efisiensi tenaga dan optimalisasi produksi yang lebih banyak dalam waktu yang lebih singkat. Penggunaan alat dan mesin pertanian (Alsintan) memang mengeluarkan biaya yang cukup besar, akan tetapi jika dihitung secara teliti akan diperoleh keuntungan yang signifikan jika menggunakan alsintan dibandingkan hanya mengandalkan tenaga manusia.

Mekanisasi pertanian membawa dampak signifikan dan mengantarkan era baru dalam dunia pertanian. Berikut beberapa manfaat positif penerapan mekanisasi pertanian:

1. Peningkatan Produktivitas Tenaga Kerja

Mekanisasi membantu petani menyelesaikan pekerjaan dengan lebih cepat dan efisien, sehingga meningkatkan hasil panen per orang. Hal ini memungkinkan berkurangnya ketergantungan pada tenaga kerja manual dan membebaskan petani untuk fokus pada aspek lain dari usaha tani mereka.

2. Peningkatan Produktivitas Lahan.

Mesin-mesin pertanian modern mampu mengolah lahan dengan lebih optimal, meningkatkan kesuburan tanah, dan memaksimalkan hasil panen per satuan luas lahan. Hal ini berkontribusi pada peningkatan ketahanan dan kemandirian pangan.

3. Penurunan Biaya Produksi.

Penggunaan alat-alat mekanis dapat membantu petani menghemat biaya produksi, seperti biaya tenaga kerja, bahan bakar, dan pupuk. Hal ini meningkatkan keuntungan petani dan mendorong mereka untuk terus berinovasi dan mengembangkan usaha taninya.

4. Pengurangan Beban Kerja Petani.

Mekanisasi membantu meringankan beban fisik pekerjaan petani, sehingga mereka terhindar dari kelelahan dan risiko cedera. Hal ini meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan petani, serta memungkinkan mereka untuk bekerja lebih lama dan produktif.

5. Peningkatan Kualitas dan Kuantitas Produksi. Mesin-mesin modern mampu menghasilkan produk pertanian dengan kualitas yang lebih konsisten dan seragam, serta meningkatkan kuantitas panen. Hal ini membuka peluang pasar yang lebih luas bagi petani dan meningkatkan nilai ekonomi produk pertanian.

5.3.3 Pemanfaatan *Information Communication Technology* (ICT)

IoT (*Internet of Things*) bekerja dengan memanfaatkan program yang cerdas. Setiap instruksi dalam program tersebut memungkinkan interaksi otomatis antar mesin tanpa campur tangan manusia, bahkan dari jarak jauh. Jaringan internet berperan sebagai jembatan komunikasi antar mesin, sedangkan manusia hanya bertugas mengatur dan memantau kinerja alat tersebut.

Teknologi informasi dan komunikasi (TIK) membawa angin segar bagi pengelolaan lahan pertanian. Penerapan teknologi di bidang pertanian menjadi kunci penting dalam pengembangan sektor pertanian. Teknologi IoT (*Internet of Things*) hadir sebagai solusi tepat untuk mengatasi berbagai tantangan yang dihadapi petani melalui teknologi digital. Sensor IoT mampu memberikan informasi *real-time* dalam memantau pertumbuhan tanaman, mendeteksi hama dan penyakit, serta menganalisa kesuburan tanah. Di sisi lain, teknologi nirkabel ini dapat memberikan informasi tentang cuaca dan iklim. Data yang dikumpulkan dianalisis untuk membantu petani mengambil keputusan yang tepat terkait pengelolaan lahan. Peralatan canggih dengan teknologi IoT dapat menjadwalkan pemupukan, penyemprotan pestisida, dan penyiraman secara otomatis, sehingga menghemat waktu dan tenaga kerja sehingga dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas produk pertanian.



Gambar 5.3. Contoh Penerapan IoT

Inovasi digital terkait proses serta mekanisasi memang diperlukan pada era pertanian modern seperti saat ini, namun perlu juga ditopang adanya pembaharuan pada subsistem budidaya atau usahatani yang berkaitan dengan metode baru atau pola tanam yang diterapkan pada lahan usahatani.



Gambar 5.4. Penerapan IoT, Robot *Construction*, *Artificial Intelligence* untuk pengembangan AWR dan otomatisasi mekanisasi pertanian

Teknologi IoT mampu dalam menjadwalkan otomatisasi penyiraman, penyemprotan pestisida, dan pemupukan menjadikannya alat bantu yang sangat bermanfaat. Potensi dan

solusi yang ditawarkan IoT sangatlah besar, mendukung dan membantu petani dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi usaha taninya.

Pengembangan usahatani dan peningkatan produksi juga dapat dilakukan melalui inovasi pola tanam. Inovasi atau teknologi baru dalam pola tanam mutlak diperlukan jika cara-cara lama yang diterapkan tidak lagi memberikan hasil sebagaimana yang diharapkan. Trend penurunan produksi pangan yang terjadi saat ini merupakan salah satu indikasi perlunya teknologi baru yang lebih menguntungkan untuk diadopsi oleh petani. Keberadaan teknologi baru atau inovasi mutlak diperlukan guna mendukung kelancaran pembangunan pertanian (Wibowo, 2020); (Kementerian, 2023). Inovasi merupakan sebuah terobosan baru yang mampu menciptakan perubahan secara signifikan terhadap dunia industri ataupun kehidupan manusia, dimana dengan adanya suatu inovasi selain memecahkan masalah yang dihadapi, juga memberikan nilai baru sebagai peluang untuk meningkatkan taraf hidup manusia (Alles, 2015). Tentunya, sebuah inovasi perlu dihantarkan (difusi) dengan baik agar dapat tersebar secara luas dan diterima dengan baik, sehingga dapat membantu kehidupan dalam komunitas sosial ataupun ruang lingkup bisnis untuk tidak terjatuh ke era disrupsi secara berkelanjutan yang menggantikan paksa sistem lama (Kumaraswamy, A., Garud, R., & Ansari, 2018). Inovasi akan bisa diterima dengan baik jika memenuhi beberapa syarat diantaranya memberikan keuntungan relatif dan hasilnya dapat dilihat. Oleh karena itu, membangun kepercayaan masyarakat agar dapat menerima suatu inovasi penting untuk dilakukan diantaranya adalah memberikan data-data yang riil berdasarkan prosedur ilmiah dalam sebuah penelitian untuk menggambarkan dan menguji kelayakan inovasi untuk bisa terdifusi pada masyarakat secara luas. Inovasi pola tanam memberikan solusi terkait cara-cara baru dalam sistem tanam yang diadopsi oleh petani. Jika sistem tanam yang saat ini dilakukan secara urun temurun dan telah membudaya di kalangan petani tidak lagi memberikan hasil yang menguntungkan maka temuan baru yang berkaitan dengan pola tanam atau sistem tanam berdasarkan kajian ilmiah dan penelitian dapat menjadi solusi untuk membantu petani keluar dari masalah tersebut.

Inovasi tersebut tentunya telah teruji dan hasilnya telah dapat dibuktikan bisa membawa peningkatan produksi dan kesejahteraan petani.

5.4 Tantangan Masa Depan Pertanian

Era industri 4.0 adalah sebuah keniscayaan yang tidak dapat dihindarkan. Era industri 4.0 akan merambah seluruh sektor kehidupan tidak terkecuali sektor pertanian seperti yang terjadi saat ini. Kesiapan sumberdaya manusia untuk menyambut era ini dan kemampuan beradaptasi, mengelola menghadapi disrupsi teknologi ini adalah hal yang perlu mendapatkan perhatian serius.. Transformasi Pertanian 4.0 Sangat terkait dengan Kesiapan sumberdaya manusia baik itu pihak penyuluh yang berperan sebagai inovator maupun kesiapan petani sasaran sebagai penerima inovasi. Kesiapan Dan Kemampuan sumber daya manusia pertanian untuk menyesuaikan diri dalam mengadopsi teknologi ini akan sangat mempengaruhi keberhasilan peningkatan dan keberlanjutan sektor pertanian. Ketersediaan dan pemerataan infrastruktur digital dan akses internet yang memadai juga penting untuk dilakukan, karena hal ini dapat menjadi hambatan dalam mengintegrasikan digitalisasi pertanian 4.0 ke dalam praktik pertanian lokal. Implementasi teknologi pertanian 4.0 tentu memerlukan investasi baik dalam hal sumber daya yang ahli, infrastruktur dan peralatan.

Pemberdayaan bagi seluruh sumberdaya manusia yang terkait dapat saja menjadi solusi, namun perlu diingat bahwa kemampuan adaptasi dan akses masing-masing pihak akan berbeda-beda. Petani dan Penyuluh pertanian sebagai ujung tombak keberlanjutan dan pengembangan sektor pertanian harus dengan cepat menyesuaikan diri dengan kemampuan keterampilan digital untuk menghadapi transformasi pertanian yang saat ini sudah berlangsung. Transformasi pertanian modern era 4.0 atau era digitalisasi pertanian harus didukung oleh komponen-komponen sebagai berikut.

5.4.1 *Teknoware*

Komponen *Teknoware* ini lebih ke teknologi yang dipergunakan untuk mendukung kinerja petani, mulai dari software hingga hardware-nya. Kementerian pertanian sudah menyiapkan banyak perangkat yang mendukung kinerja penyuluh menghadapi era industri 4.0 seperti SIMLUHTAN (Sistem Manajemen Penyuluh Pertanian), E-RDKK, hingga *cyber extention*.

5.4.2 *Humanware*

"*humanware*" merujuk pada manusia, baik sebagai pengguna maupun pengembang teknologi. Dalam konteks penyuluhan pertanian, "*humanware*" mengacu pada peran penting penyuluh dalam mengadopsi dan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk memodernisasi sektor pertanian. Penyuluh pertanian harus adaptif dan mampu mengikuti perkembangan TIK. Mereka perlu memahami dan menguasai TIK secara menyeluruh, termasuk modernisasi pertanian yang dimungkinkan oleh teknologi. Penyuluh pertanian harus selalu memperbarui pengetahuan mereka tentang teknologi informasi terbaru. Mereka juga harus mampu mengoperasikan secara efektif seluruh perangkat sistem yang disediakan oleh Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

5.4.3 *Organoware*

"*Organoware*" dalam konteks ini mengacu pada organisasi atau lembaga yang terkait dengan pertanian, khususnya Balai Penyuluhan Pertanian (BPP). Kementerian Pertanian telah merancang pengembangan BPP berbasis IT untuk memperkuat peran strategisnya dalam mengkoordinasikan, mensinergikan, dan menyelaraskan kegiatan pembangunan pertanian di wilayah kerjanya. Peran strategis BPP meliputi:

1. Fasilitator yang memfasilitasi ketersediaan prasarana dan sarana penyuluhan: BPP perlu menyediakan infrastruktur dan peralatan yang memadai untuk mendukung kegiatan penyuluhan.
2. Meningkatkan pelayanan kepada petani: BPP harus memberikan layanan yang berkualitas dan mudah diakses oleh para petani.

3. Meningkatkan kemampuan dan keterampilan penyuluh pertanian: BPP perlu memberikan pelatihan dan pengembangan kapasitas kepada para penyuluh agar mereka mampu menguasai berbagai aspek pertanian, termasuk teknologi informasi dan komunikasi.
4. Memperkuat koordinasi dan sinergi dengan pihak terkait: BPP perlu menjalin kerjasama dengan berbagai pihak terkait, seperti pemerintah daerah, lembaga penelitian, dan sektor swasta, untuk mendukung pembangunan pertanian di wilayahnya.

Penguatan kapasitas BPP dilakukan melalui (1) meningkatkan pemahaman dan wawasan penyuluh pendamping serta petani dalam menuju korporasi. BPP perlu memberikan pelatihan dan sosialisasi kepada para penyuluh dan petani tentang konsep korporasi dan manfaatnya bagi petani; (2) Memperkuat prasarana dan sarana pendukung dalam hal ini BPP perlu meningkatkan infrastruktur dan teknologi informasi untuk mendukung pelayanan berbasis teknologi informasi; (3) Memanfaatkan peluang pasar dengan membantu petani dalam mengakses pasar dan mendapatkan harga yang menguntungkan bagi hasil panen mereka.

5.4.4 Infoware

"*Infoware*" dalam konteks ini mengacu pada informasi yang dikemas dengan cara yang mudah digunakan juga mudah dipahami oleh para petani sasaran. Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) melalui Penyuluh Pertanian harus mampu menyediakan layanan informasi yang cepat, tepat waktu, dan sesuai dengan kebutuhan para petani, baik melalui layanan online/digital maupun layanan tatap muka.

Tugas utama BPP dalam hal "infoware" meliputi:

1. Memberikan edukasi yang cukup bagi pengembangan petani: BPP perlu memberikan edukasi dan pelatihan yang komprehensif kepada para petani agar mereka mampu beradaptasi dan berkembang di era Revolusi Industri 4.0. Hal ini termasuk edukasi tentang pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dalam pertanian.

2. Membimbing kelembagaan ekonomi petani satu korporasi: BPP perlu membantu para petani dalam membangun dan mengelola korporasi pertanian. Hal ini termasuk membantu mereka dalam merancang manajemen usaha tani berbasis TIK.

Selama proses transformasi tersebut, pemerintah memiliki komitmen yang kuat untuk menyiapkan regulasi yang mendukung modernisasi pertanian di era industri 4.0 guna membantu pelaku atau sumberdaya manusia di sektor pertanian untuk beradaptasi dan *melek* terhadap modernisasi pertanian saat ini, karena kemajuan teknologi tidak bisa dibendung termasuk dukungan kelembagaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alles, M. G. (2015). Drivers of the use and facilitators and obstacles of the evolution of big data by the audit profession. In *Accounting Horizons* (Vol. 29, Issue 2, pp. 439–449). <https://doi.org/10.2308/acch-51067>
- Aziza, T. N. (2014). Menilik Kebijakan Pembangunan Pertanian. *Borneo Administrator*, 10(2), 1–20.
- Council of Canadian Academies. (2014). A boriginal Food Security in northern canada: An Assessment oF the ftate oF K nowledge. *The Expert Panel on the State of Knowledge of Food Security in Northern Canada*. Ottawa.
- Dewi, E. (2018). Analisis Kebijakan Swasembada Beras dalam Upaya Peningkatan Ketahanan Pangan. *Jurnal Agribis - Fakultas Pertanian, Univ. Tulungagung*, 14, 29–42.
- Gerlach, S. C., & Loring, P. A. (2013). Rebuilding northern foodsheds, sustainable food systems, community well-being, and food security. *International Journal of Circumpolar Health*, 72(SUPPL.1), 1–4. <https://doi.org/10.3402/ijch.v72i0.21560>
- Hirawan, F. B., Ekonomi, D., & Indonesia, C. (2020). Kebijakan Pangan di Masa Pandemi. *Centre for Strategic and International Studies*, April, 1–7.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*, 3(August), 150–164.
- Jr, K. P. W., Klemm, R. D. W., & Sommer, A. (2010). Sound science , sound policy. *Journal of the World Public Health Nutrition Association*, 1(5), 211–229.
- Kementerian, P. (2023). Master plan Pengembangan Pertanian Presisi. In *New Scientist* (Vol. 190, Issue 2556).
- Kumaraswamy, A., Garud, R., & Ansari, S. (Shaz). (2018). Perspectives on Disruptive Innovations. *Journal of Management Studies*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/joms.12399>
- Pratama, A. R., Sudrajat, S., Harini, R., & Hindayani, P. (2021). Strategi Ketahanan Pangan Beras berdasarkan Pendekatan Food Miles. *Media Komunikasi Geografi*, 22(2), 219.

<https://doi.org/10.23887/mkg.v22i2.37518>

- Rasminto, & Ain, M. (2021). Model Ketahanan Pangan Dalam Menghadapi Dampak Pandemi Covid-19. *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 10(1), 34–43.
- Rosmalah, S. (2022). Eksistensi Usahatani dan Keberdayaan Petani Ladang Di Pulau Wawonii. *Penerbit NEM*.
- Rosmalah, S., & Nurmaya. (2023). *STRATEGI PEMBERDAYAAN PETANI PADI LADANG DI KABUPATEN KONAWE KEPULAUAN (The Empowerment Strategies For Swidden Agriculture Farmers In Konawe Islands District)*. 6(April), 71–78.
- Rosmalah, S., Widayati, W., & Sidu, D. (2019). Existence of Swidden Agriculture in a Small Island. *The Ijes*, 68–75. <https://doi.org/10.9790/1813-0803016875>
- Wibowo, E. T. (2020). Pembangunan Ekonomi Pertanian Digital Dalam Mendukung Ketahanan Pangan (Studi di Kabupaten Sleman: Dinas Pertanian, Pangan, dan Perikanan, Daerah Istimewa Yogyakarta). *Jurnal Ketahanan Nasional*, 26(2), 204. <https://doi.org/10.22146/jkn.57285>

BIODATA PENULIS



Ir. Roosganda Elizabeth, M.Si., MS.PNLP.
BRIN

Google Scholar : roosimanru@yahoo.com ; roosimanru@gmail.com
Orcid : 0000-0003-4137-1731
SCOPUS ID : 57218812768
SINTA ID : 6671403

Penulis, berkarya nyata sebagai fungsionalis peneliti ASN – Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) di bidang Pemberdayaan dan Inovasi Kompetensi SDM, Kelembagaan, Sosial Ekonomi Manajemen Bisnis dan Agribisnis, Ekonomi Khusus, Kerakyatan dan Kreatif, Pengabdian Masyarakat, Founder Start Up, Dewan Komisaris Perkebunan Swasta Nasional, Mitra Bestari, Reviewer, dan Editor anggota Tim Dewan Redaksi dan Editorial Board beberapa publikasi dan jurnal. Aktif menulis karya tulis ilmiah (KTI) di berbagai publikasi nasional dan internasional; berkarya nyata sebagai fungsionalis dan pengurus aktif di beberapa organisasi dan profesi ilmiah. Ber-orientasi sektor publik dengan menyelaraskan keberpihakan dan pendampingan. Pembimbing Mahasiswa agar mampu menyelesaikan tugas akhir, skripsi, tesis, desertasi berkualitas dan sempurna agar segera mampu memanfaatkan keilmuannya di masyarakat dan lingkungan luas dengan kompetensi, qualified, bernilai jual tinggi dan bertanggungjawab serta ber-ahlak, ber-attitude, menjunjung tinggi dan komit melaksanakan etika dan norma empati, simpati dan toleransi dalam

bermasyarakat yang majemuk dan beragam, untuk dan supaya mampu menuliskan, mendiseminasikan, mensosialisasikan dan menyebarluaskan hasil karya nyata mereka kepada masyarakat luas (nasional dan internasional) melalui karya tulis ilmiah, artikel, deskripsi dan statement ilmiah dan populer yang kompeten, bertanggungjawab, bermanfaat tinggi dan luas.

BIODATA PENULIS



Ir. Sutiharni., MP

Dosen Program Studi Agroteknologi,
Jurusan Budidaya Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Papua

Lahir di Bandung 30 Juni 1961. Perguruan Tinggi: Universitas Papua; Alamat Perguruan Tinggi: Jalan Gunung Salju Amban Manokwari-Papua Barat; Fakultas Pertanian Universitas Papua; Jurusan Budidaya Pertanian Prodi Agroteknologi; S1: Agronomi Faperta UNCEN; S2: Ilmu Hama Tumbuhan Pascasarjana UGM; Pernah menempuh Program Doktorat di Program S3 Ilmu Pertanian Pasca Sarjana UGM. Ilmu yang ditekuni: Ilmu Hama Tumbuhan. Berperan aktif dalam penulisan buku Bookchapter, buku ajar, Referensi dan Monograf, telah menyelesaikan 44 publikasi untuk ke 4 jenis buku tersebut yang telah ber ISBN. Berperan aktif menulis artikel karya ilmiah pada jurnal Internasional, Internasional terindeks, Proseding Internasional, jurnal Nasional terakreditasi, jurnal dan jurnal Nasional serta jurnal Pengabdian kepada Masyarakat. Email: naningmulyadi@gmail.com, s.sutiharni@unipa.ac.id,

BIODATA PENULIS



Sulis Dyah Candra, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian - Universitas Panca Marga

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian di Universitas Panca Marga. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Jawa Timur, dan melanjutkan S2 pada Jurusan Agronomi Universitas Jember. Penulis menekuni bidang menulis sebagai bagian dari implementasi dan aktualisasi akademis penunjang bidang keilmuan, dengan SCOPUS ID:

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57358890900>; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7623-5792>; SINTA ID: <https://sinta.kemdikbud.go.id/authors/profile/162471>; dan Google scholar ID: <https://scholar.google.com/citations?hl=id&user=PQ9-7zAAAAAJ>.

BIODATA PENULIS



Ir. Muh. Ansar, SP, M.Si

Dosen Program Studi Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin

Penulis lahir di Lingkungan Biroro Kecamatan Bulukumpa Kabupaten Bulukumba Provinsi Sulawesi Selatan tanggal 3 Mei 1973. Tahun 1992 penulis lulus dari SMA Negeri I Bulukumba dan lulus ujian seleksi masuk Universitas Hasanuddin pada tahun 1993 melalui Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB), selesai tahun 1997. Penulis memilih Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian dan Kehutanan. Kemudian melanjutkan S2 pada tahun 2007 di Program Studi Ilmu Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) di IPB University, selesai tahun 2009.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis menjadi Asisten Dosen pada mata kuliah Dasar-Dasar Ilmu Tanah pada tahun 1994/1997, mata kuliah Hidrologi dan Irigasi pada tahun 1995/1997, dan mata kuliah Konservasi Tanah dan Air pada tahun 1996/2000.

Penulis bekerja sebagai Staf Pengajar di Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin sejak tahun 2001. Mata kuliah yang menjadi tanggung jawab penulis adalah Agrohidrologi, Pengelolaan DAS Terpadu, dan Konservasi Tanah dan Air.

BIODATA PENULIS



Dr. Sitti Rosmalah, S.P., M.P

Dosen Program Studi Magister Agribisnis
Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Kendari

Penulis lahir di Usuku-Tomia tanggal 20 November 1980. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Magister Agribisnis Universitas Muhammadiyah Kendari. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Sosial Ekonomi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ekonomi Pertanian Universitas Gadjah Mada dan S3 Pada jurusan Ilmu Pertanian Konsentrasi Penyuluhan dan Komunikasi Pembangunan Universitas Halu Oleo. Saat ini penulis menjabat sebagai Ketua Program Studi Magister Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Kendari. Penulis aktif dalam menulis artikel dan buku serta aktif dalam kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat yang didanai oleh Kemdikbud Ristek Dikti.