

Buku Referensi

Manajemen Sumber Daya Alam Pertanian dan Perikanan



Ivonne M. Leiwakabessy, S.P., M.Si.
Dr. Dwi Indah Widya Yanti, M.Si.
Melisa Christine Masengi, S.Pi., M.Si.
Roger R. Tabalessy, S.Si., M.Si.

Joni Penda, S.P., M.MA.
Frederik Pairunan, S.P., M.MA.
Yoelan Palembang, S.Pi., M.Pi.
Nistiarni Zebua, S.Pi., M.Si.

BUKU REFERENSI
MANAJEMEN SUMBER
DAYA ALAM
PERTANIAN DAN PERIKANAN

Ivonne M. Leiwakabessy, S.P., M.Si.
Dr. Dwi Indah Widya Yanti, M.Si.
Melisa Christine Masengi, S.Pi., M.Si.
Roger R. Tabalessy, S.Si., M.Si.
Joni Penda, S.P., M.MA.
Frederik Pairunan, S.P., M.MA.
Yoelan Palembang, S.Pi., M.Pi.
Nistiarni Zebua, S.Pi., M.Si.



MANAJEMEN SUMBER DAYA ALAM PERTANIAN DAN PERIKANAN

Ditulis oleh:

Ivonne M. Leiwakabessy, S.P., M.Si.

Dr. Dwi Indah Widya Yanti, M.Si.

Melisa Christine Masengi, S.Pi., M.Si.

Roger R. Tabalessy, S.Si., M.Si.

Joni Penda, S.P., M.MA.

Frederik Pairunan, S.P., M.MA.

Yoelan Palembang, S.Pi., M.Pi.

Nistiarni Zebua, S.Pi., M.Si.

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



ISBN: 978-634-7184-99-3

III + 214 hlm; 18,2 x 25,7 cm.

Cetakan I, Juni 2025

Desain Cover dan Tata Letak:

Ajrina Putri Hawari, S.AB.

Diterbitkan, dicetak, dan didistribusikan oleh

PT Media Penerbit Indonesia

Royal Suite No. 6C, Jalan Sedap Malam IX, Sempakata

Kecamatan Medan Selayang, Kota Medan 20131

Telp: 081362150605

Email: ptmediapenerbitindonesia@gmail.com

Web: <https://mediapenerbitindonesia.com>

Anggota IKAPI No.088/SUT/2024



KATA PENGANTAR

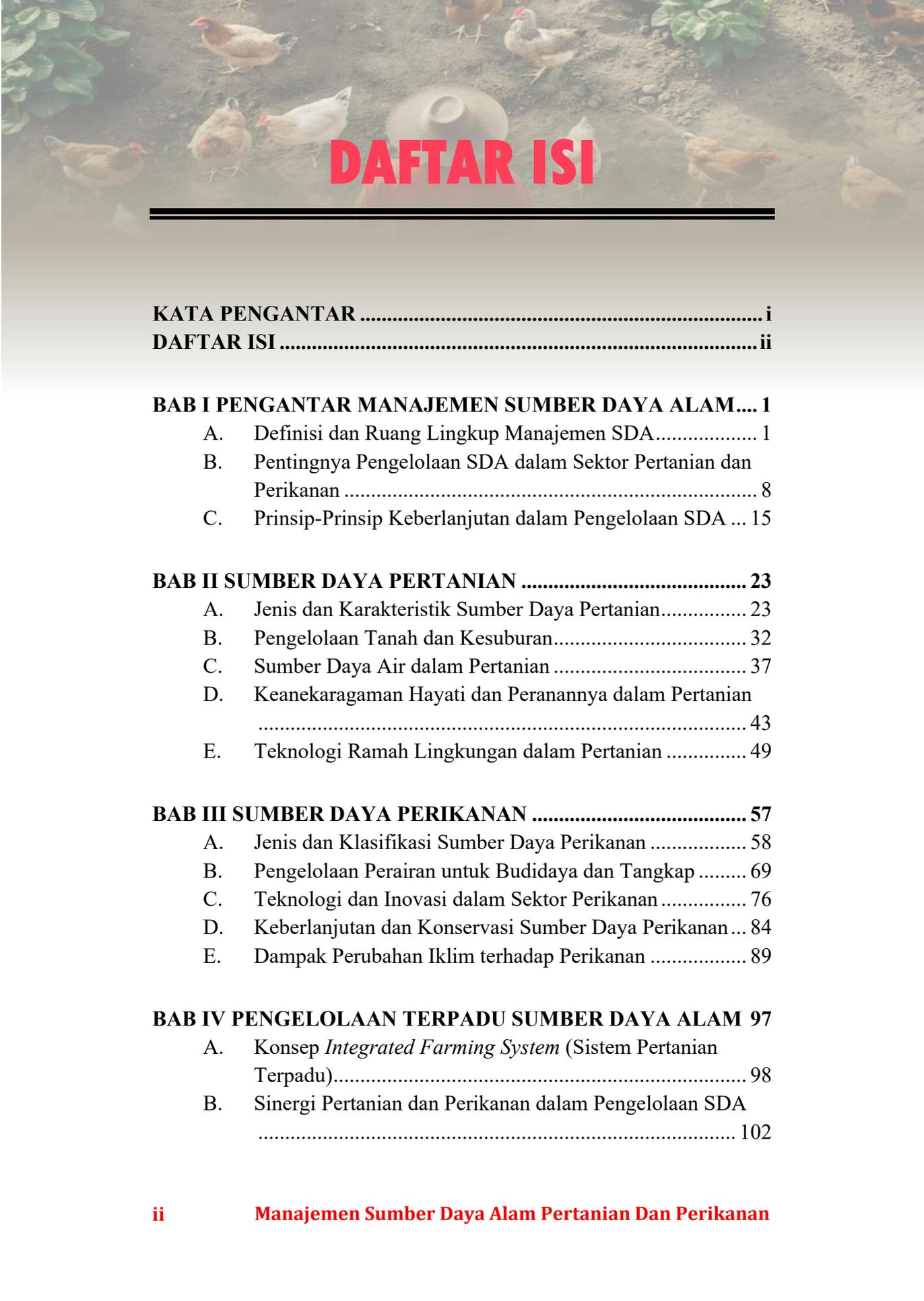
Sumber daya alam merupakan fondasi utama bagi kehidupan manusia, terutama dalam mendukung aktivitas ekonomi dan keberlanjutan lingkungan. Di sektor pertanian dan perikanan, sumber daya alam seperti tanah, air, udara, dan keanekaragaman hayati menjadi elemen kunci yang menentukan produktivitas dan keberlanjutan usaha. Namun, seiring dengan peningkatan populasi, urbanisasi, dan tuntutan terhadap hasil produksi pangan, tekanan terhadap sumber daya ini kian meningkat.

Buku referensi “Manajemen Sumber Daya Alam Pertanian dan Perikanan” membahas secara komprehensif konsep, prinsip, dan praktik pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, khususnya dalam sektor pertanian dan perikanan. Buku referensi ini membahas definisi dan ruang lingkup manajemen SDA, jenis serta karakteristik sumber daya pertanian dan perikanan, teknologi ramah lingkungan, dampak perubahan iklim, hingga pengelolaan terpadu melalui sistem pertanian-perikanan terintegrasi. Buku referensi ini juga membahas kebijakan dan regulasi pemerintah, peran masyarakat serta sektor swasta, tantangan global, dan peluang inovasi di masa depan.

Semoga buku referensi ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan wawasan, peningkatan kapasitas, dan pemahaman yang lebih mendalam bagi pembaca dalam mengelola sumber daya alam secara bijak, berkelanjutan, dan bertanggung jawab, khususnya di sektor pertanian dan perikanan.

Salam Hangat,

Tim Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii

BAB I PENGANTAR MANAJEMEN SUMBER DAYA ALAM.... 1

- A. Definisi dan Ruang Lingkup Manajemen SDA..... 1
- B. Pentingnya Pengelolaan SDA dalam Sektor Pertanian dan Perikanan 8
- C. Prinsip-Prinsip Keberlanjutan dalam Pengelolaan SDA ... 15

BAB II SUMBER DAYA PERTANIAN 23

- A. Jenis dan Karakteristik Sumber Daya Pertanian..... 23
- B. Pengelolaan Tanah dan Kesuburan..... 32
- C. Sumber Daya Air dalam Pertanian 37
- D. Keanekaragaman Hayati dan Peranannya dalam Pertanian 43
- E. Teknologi Ramah Lingkungan dalam Pertanian 49

BAB III SUMBER DAYA PERIKANAN 57

- A. Jenis dan Klasifikasi Sumber Daya Perikanan 58
- B. Pengelolaan Perairan untuk Budidaya dan Tangkap 69
- C. Teknologi dan Inovasi dalam Sektor Perikanan 76
- D. Keberlanjutan dan Konservasi Sumber Daya Perikanan... 84
- E. Dampak Perubahan Iklim terhadap Perikanan 89

BAB IV PENGELOLAAN TERPADU SUMBER DAYA ALAM 97

- A. Konsep *Integrated Farming System* (Sistem Pertanian Terpadu)..... 98
- B. Sinergi Pertanian dan Perikanan dalam Pengelolaan SDA 102

C.	Pola Agroforestri dan Akuaponik dalam Pengelolaan SDA	107
D.	Studi Kasus: Implementasi Manajemen SDA dalam Sektor Pertanian dan Perikanan	119

BAB V KEBIJAKAN DAN REGULASI PENGELOLAAN SDA

	129
A.	Kebijakan Pemerintah dalam Pengelolaan SDA	130
B.	Peran Masyarakat dan Swasta dalam Konservasi SDA... ..	139
C.	Regulasi Internasional Terkait Pengelolaan SDA	146
D.	Strategi Pengelolaan Berkelanjutan untuk Masa Depan..	154

BAB VI TANTANGAN DAN PELUANG DI MASA DEPAN 165

A.	Isu Global dalam Pengelolaan SDA Pertanian dan Perikanan	166
B.	Inovasi dan Teknologi Masa Depan	173
C.	Peran Pendidikan dan Penelitian dalam Pengelolaan SDA	181
D.	Kesimpulan dan Rekomendasi	190

DAFTAR PUSTAKA 195

GLOSARIUM..... 207

INDEKS 211

BIOGRAFI PENULIS..... 213



BAB I

PENGANTAR MANAJEMEN SUMBER DAYA ALAM

Sumber daya alam (SDA) merupakan fondasi utama kehidupan manusia yang mencakup berbagai elemen penting seperti tanah, air, udara, hutan, laut, dan keanekaragaman hayati. Ketersediaan dan pemanfaatannya yang berkelanjutan sangat menentukan keberlangsungan kehidupan sosial, ekonomi, dan lingkungan. Di tengah pertumbuhan populasi dan pembangunan ekonomi yang semakin masif, tekanan terhadap SDA semakin tinggi. Eksploitasi berlebihan, pencemaran lingkungan, serta perubahan iklim telah menyebabkan kerusakan ekosistem yang berdampak langsung pada ketahanan pangan, kesejahteraan masyarakat, dan daya dukung lingkungan.

Manajemen sumber daya alam adalah suatu proses perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, dan pengawasan terhadap pemanfaatan SDA agar dapat digunakan secara optimal dan lestari. Pendekatan manajemen yang efektif tidak hanya mempertimbangkan aspek teknis-ekonomi, tetapi juga aspek sosial, budaya, hukum, dan ekologi. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, manajemen SDA menjadi jembatan antara pemenuhan kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhannya..

A. Definisi dan Ruang Lingkup Manajemen SDA

Manajemen Sumber Daya Alam (MSDA) dapat diartikan sebagai suatu proses sistematis dalam perencanaan, pemanfaatan, pengawasan, dan pengembangan sumber daya alam dengan mempertimbangkan aspek kelestarian lingkungan, efisiensi ekonomi, dan keadilan sosial. MSDA mencakup semua upaya yang bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara eksploitasi sumber daya alam dengan konservasinya untuk

generasi sekarang dan mendatang. Manajemen sumber daya alam adalah suatu proses pengelolaan penggunaan sumber daya baik yang dapat diperbarui seperti air, hutan, dan perikanan, maupun yang tidak dapat diperbarui seperti mineral dan bahan tambang untuk menghasilkan manfaat ekonomi dan sosial jangka panjang tanpa merusak kemampuan lingkungan dalam memulihkan dirinya. Lebih lanjut, manajemen SDA juga merupakan pendekatan multidisipliner yang melibatkan ilmu ekologi, ekonomi, hukum, sosiologi, politik, dan teknologi (Anderson, 2024). Hal ini menjadikan manajemen SDA tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga politis dan normatif, karena menyangkut kepentingan banyak pihak dan sering kali terjadi konflik kepentingan antara pelestarian dan eksploitasi.

1. Pengelolaan Pertanian

Pengelolaan sumber daya alam (MSDA) dalam sektor pertanian merupakan elemen krusial untuk menjamin keberlanjutan sistem produksi pangan. Di banyak negara berkembang, pertanian menjadi tumpuan utama bagi mata pencaharian masyarakat dan penyedia kebutuhan pangan. Namun, tekanan terhadap lahan pertanian akibat pertumbuhan penduduk, perubahan iklim, dan alih fungsi lahan menyebabkan degradasi kualitas tanah dan air. Oleh karena itu, pendekatan pengelolaan yang berbasis konservasi menjadi penting. MSDA dalam pertanian berupaya menjaga kualitas dan kuantitas sumber daya lahan dan air dengan strategi seperti terasering, penanaman tanaman penutup tanah, pengelolaan irigasi hemat air, serta konservasi kelembaban tanah (Pretty *et al.*, 2018).

Gambar 1. Terasiring



Sumber: *Lindungi Hutan*

Pemilihan varietas tanaman yang adaptif terhadap kondisi lingkungan lokal juga menjadi strategi penting dalam MSDA. Varietas tanaman yang tahan kekeringan, penyakit, dan hama memungkinkan peningkatan produktivitas tanpa harus memperluas lahan. Di sisi lain, teknologi pertanian seperti sistem irigasi tetes, sensor kelembaban tanah, serta pemanfaatan *drone* dan sistem informasi geografis (GIS) mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan SDA dan menekan kerugian. Integrasi teknologi ini membantu petani membuat keputusan yang lebih akurat berdasarkan data cuaca, kondisi tanah, dan kebutuhan tanaman, sehingga efisiensi lahan dan air dapat ditingkatkan tanpa merusak ekosistem.

Aspek lain adalah pengurangan penggunaan *input* kimia yang berlebihan, seperti pupuk anorganik dan pestisida sintesis. Penggunaan *input* ini secara berlebihan dapat mencemari tanah dan air serta menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia dan keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, pendekatan agroekologi dan pertanian organik semakin diperkuat dalam praktik MSDA.

2. Pengelolaan Kehutanan

Pengelolaan kehutanan sebagai bagian dari manajemen sumber daya alam (MSDA) memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekologis global. Hutan bukan hanya habitat bagi berbagai spesies, tetapi juga berfungsi sebagai penyimpan karbon, penyaring air, dan penstabil iklim. Dalam konteks ini, *Sustainable Forest Management* (SFM) menjadi pendekatan yang menekankan pentingnya menjaga keseimbangan antara manfaat ekologis, sosial, dan ekonomi dari hutan. Tantangan utama yang dihadapi adalah meningkatnya deforestasi akibat konversi lahan untuk pertanian, infrastruktur, serta kegiatan ilegal seperti penebangan liar. Oleh karena itu, kebijakan pengelolaan hutan harus mencakup upaya pelestarian jangka panjang yang didukung oleh penegakan hukum dan perencanaan penggunaan lahan yang berkelanjutan.

Salah satu praktik utama dalam MSDA sektor kehutanan adalah reboisasi dan rehabilitasi lahan kritis. Reboisasi tidak hanya penting dalam memulihkan tutupan hutan, tetapi juga untuk menjaga keberlanjutan jasa ekosistem seperti pengendalian erosi, pengaturan siklus hidrologi, dan konservasi keanekaragaman hayati. Di sisi lain, pengawasan terhadap aktivitas deforestasi, baik melalui pemantauan

satelit, sistem pelaporan masyarakat, maupun penggunaan teknologi seperti *drone*, menjadi langkah strategis untuk mencegah kerusakan hutan lebih lanjut. Transparansi dan akuntabilitas dalam pemanfaatan sumber daya hutan juga perlu diperkuat melalui mekanisme sertifikasi seperti *Forest Stewardship Council (FSC)* dan instrumen kebijakan REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*).

Gambar 2. *Sustainable Forest Management Cycle*



Sumber: *Epis*

Keberhasilan MSDA di sektor kehutanan sangat dipengaruhi oleh pelibatan masyarakat lokal dan adat dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan. Masyarakat adat memiliki pengetahuan lokal dan praktik tradisional yang terbukti mampu menjaga kelestarian hutan secara turun-temurun. Pemberdayaan melalui pengakuan hak atas tanah, akses terhadap sumber daya hutan, dan pelibatan dalam skema ekowisata atau hasil hutan bukan kayu dapat meningkatkan kepemilikan sosial terhadap pelestarian hutan.

3. Pengelolaan Perikanan dan Kelautan

Sektor perikanan dan kelautan merupakan salah satu pilar penting dalam ketahanan pangan dan ekonomi negara, terutama bagi masyarakat pesisir. Namun, aktivitas penangkapan ikan yang berlebihan (*Overfishing*), penggunaan alat tangkap yang merusak, serta pencemaran laut telah menyebabkan degradasi serius terhadap ekosistem laut dan menurunnya populasi ikan secara global (Garcia *et al.*, 2014). Dalam

konteks manajemen sumber daya alam (MSDA), pengelolaan sektor ini harus berbasis pada prinsip keberlanjutan, dengan mengatur zona penangkapan ikan, menetapkan kuota tangkap berdasarkan kajian stok ikan, serta memberlakukan masa larang tangkap pada musim pemijahan. Tujuannya adalah untuk menjaga keseimbangan populasi ikan, memulihkan stok yang menurun, dan menghindari kolapsnya sistem perikanan di masa depan.

Gambar 3. *Overfishing*



Sumber: *For Ocean*

Budidaya perikanan (akuakultur) yang berkelanjutan juga menjadi solusi strategis untuk mengurangi tekanan terhadap laut. Dengan pendekatan teknologi ramah lingkungan, seperti sistem bioflok, *recirculating aquaculture system* (RAS), dan pemanfaatan limbah organik sebagai pakan, budidaya dapat menjadi alternatif produksi yang efisien tanpa merusak lingkungan. Selain itu, pendekatan berbasis ekosistem laut (*ecosystem-based management*) menempatkan konservasi keanekaragaman hayati dan fungsi ekologis sebagai bagian penting dari kebijakan pengelolaan perikanan. Hal ini mencakup perlindungan terhadap wilayah penting seperti terumbu karang, padang lamun, dan *mangrove* yang menjadi habitat utama berbagai biota laut.

Pada beberapa tahun terakhir, konsep *blue economy* atau ekonomi biru menjadi kerangka global yang mendorong pertumbuhan ekonomi berbasis kelautan tanpa mengorbankan keberlanjutan ekosistem. Pendekatan ini menekankan efisiensi sumber daya, inovasi teknologi kelautan, investasi hijau, serta partisipasi masyarakat dalam

pengelolaan wilayah pesisir dan laut. Di Indonesia, ekonomi biru mulai diintegrasikan dalam kebijakan nasional, seperti Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil dan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan mengenai perizinan berbasis ekosistem.

4. Pengelolaan Energi dan Sumber Daya Mineral

Pengelolaan energi dan sumber daya mineral merupakan aspek krusial dalam manajemen sumber daya alam (MSDA), terutama di tengah meningkatnya kebutuhan energi global dan tekanan terhadap lingkungan. Sektor energi saat ini tengah menghadapi tantangan besar berupa ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang bersifat tidak terbarukan dan berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, transisi menuju energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, air, dan bioenergi menjadi prioritas global. Investasi dan kebijakan energi dunia saat ini mulai berfokus pada efisiensi energi dan pengembangan sistem energi bersih sebagai bagian dari upaya mitigasi perubahan iklim dan pencapaian target *net zero emissions*.

Pengelolaan sumber daya mineral seperti batu bara, emas, nikel, dan logam tanah jarang memerlukan pendekatan berkelanjutan yang menyeimbangkan antara kepentingan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Eksploitasi tambang yang tidak terkontrol dapat menyebabkan degradasi lahan, pencemaran air dan udara, serta konflik sosial dengan masyarakat sekitar tambang. Oleh karena itu, MSDA dalam sektor pertambangan mencakup perencanaan eksploitasi yang bertanggung jawab, penggunaan teknologi ramah lingkungan, serta pelaksanaan prinsip-prinsip *good mining practice*. Pemerintah Indonesia, misalnya, telah menerapkan kewajiban reklamasi dan *pascatambang* yang bertujuan mengembalikan fungsi ekologis lahan setelah kegiatan pertambangan berakhir.

Pendekatan *circular economy* juga menjadi strategi baru dalam pengelolaan mineral, yang menekankan pada efisiensi penggunaan sumber daya, daur ulang material, dan pengurangan limbah. Dalam hal ini, pentingnya riset dan inovasi teknologi dalam sektor energi dan mineral tidak dapat diabaikan, terutama untuk meningkatkan efisiensi proses ekstraksi dan mengembangkan alternatif energi yang berkelanjutan.

5. Konservasi Keanekaragaman Hayati

Konservasi keanekaragaman hayati menjadi pilar utama dalam manajemen sumber daya alam (MSDA) karena biodiversitas berperan penting dalam menjaga stabilitas dan keberlanjutan ekosistem. Keanekaragaman hayati mencakup semua variasi kehidupan di bumi, mulai dari tingkat genetik, spesies, hingga ekosistem, dan merupakan fondasi dari fungsi ekologi seperti penyerbukan, siklus air, serta penyediaan oksigen dan makanan. Hilangnya biodiversitas dapat mengganggu sistem pendukung kehidupan manusia, termasuk ketahanan pangan, kesehatan, dan mata pencaharian. Oleh karena itu, MSDA menempatkan konservasi hayati sebagai salah satu prioritas utama melalui pendekatan yang adaptif dan berbasis ilmu pengetahuan.

Langkah-langkah dalam konservasi keanekaragaman hayati antara lain adalah perlindungan kawasan konservasi seperti taman nasional, cagar alam, dan kawasan lindung lainnya. Kawasan ini berfungsi sebagai tempat perlindungan spesies endemik dan ekosistem alami dari tekanan eksploitasi dan fragmentasi habitat. Selain itu, restorasi habitat rusak, seperti rehabilitasi hutan, rawa, dan padang lamun, juga dilakukan untuk mengembalikan fungsi ekologis yang terganggu. Praktik ini menjadi semakin penting di tengah laju deforestasi dan konversi lahan yang tinggi, terutama di negara-negara tropis. Penguatan sistem pengawasan, partisipasi masyarakat lokal, dan pengembangan ekonomi alternatif yang ramah lingkungan juga menjadi bagian integral dalam strategi konservasi yang berkelanjutan.

Pengelolaan spesies invasif merupakan tantangan lain dalam konservasi biodiversitas. Spesies asing yang masuk ke suatu wilayah dapat mengancam keberadaan spesies lokal, mengubah struktur ekosistem, dan menyebabkan kerugian ekonomi. Oleh karena itu, MSDA mendorong kebijakan kontrol terhadap spesies invasif dan mendorong kolaborasi lintas negara dalam upaya konservasi global.

6. Pengelolaan Air

Air merupakan sumber daya alam (SDA) yang tidak tergantikan dan menjadi fondasi utama bagi keberlangsungan kehidupan, baik untuk manusia, flora, fauna, maupun sistem ekosistem secara keseluruhan. Dalam konteks manajemen sumber daya alam (MSDA), air memiliki peran strategis dalam menunjang sektor pertanian, perikanan, energi, industri, hingga kebutuhan domestik masyarakat. Namun, pertumbuhan

populasi, urbanisasi, dan perubahan iklim telah memberikan tekanan besar terhadap ketersediaan dan kualitas air. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan integratif yang menekankan efisiensi, konservasi, dan perlindungan sumber daya air secara menyeluruh.

Salah satu elemen penting dalam MSDA untuk air adalah konservasi sumber air, baik permukaan (sungai, danau) maupun air tanah. Pengelolaan daerah aliran sungai (DAS), pemulihan daerah tangkapan hujan, dan rehabilitasi kawasan hutan sebagai penyangga sumber air merupakan praktik yang krusial dalam menjaga keberlanjutan suplai air. Selain itu, efisiensi dalam penggunaan air menjadi prioritas, terutama di sektor pertanian yang menyerap lebih dari 70% total penggunaan air tawar secara global. Penggunaan sistem irigasi tetes, pemanfaatan air hujan, dan teknologi pengolahan air limbah menjadi solusi dalam menekan pemborosan dan meningkatkan efektivitas penggunaan air di berbagai sektor.

Manajemen kualitas air dan perlindungan terhadap pencemaran juga menjadi perhatian utama dalam MSDA air. Limbah industri, pertanian, dan domestik yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari sungai dan danau serta merusak ekosistem akuatik. Penerapan regulasi yang ketat terhadap limbah, peningkatan kapasitas pengolahan air limbah, serta pengawasan kualitas air secara berkala sangat penting untuk mencegah degradasi kualitas air.

B. Pentingnya Pengelolaan SDA dalam Sektor Pertanian dan Perikanan

Sumber daya alam (SDA) menjadi fondasi utama dalam pembangunan ekonomi di banyak negara, termasuk Indonesia. Sektor pertanian dan perikanan merupakan dua sektor kunci yang sangat tergantung pada kualitas dan ketersediaan SDA, khususnya tanah, air, udara, dan biodiversitas. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, pengelolaan sumber daya alam yang bijak dalam dua sektor ini memiliki implikasi besar terhadap ketahanan pangan, pengentasan kemiskinan, serta perlindungan lingkungan. Perubahan iklim, degradasi tanah, penangkapan ikan berlebihan (*Overfishing*), dan pencemaran lingkungan menjadi tantangan nyata yang dapat melemahkan produktivitas sektor pertanian dan perikanan jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu,

pentingnya manajemen sumber daya alam di sektor ini tidak bisa ditawar lagi.

1. Urgensi Pengelolaan Sumber Daya Alam dalam Sektor Pertanian

a. Pertanian dan Ketergantungan pada SDA

Pertanian merupakan sektor yang sangat tergantung pada ketersediaan dan kualitas sumber daya alam (SDA), khususnya tanah, air, dan kondisi iklim. Kualitas SDA tersebut akan menentukan produktivitas dan keberlangsungan aktivitas pertanian dalam jangka panjang. Tanah yang subur, air yang bersih dan cukup, serta iklim yang mendukung adalah prasyarat dasar untuk membangun sistem pertanian yang produktif dan berkelanjutan. Namun, banyak tantangan yang kini mengancam SDA di sektor pertanian, termasuk erosi tanah, pencemaran akibat penggunaan pestisida dan pupuk kimia berlebihan, serta degradasi tanah akibat praktik pertanian yang tidak ramah lingkungan. Ketergantungan tinggi pada SDA tanpa upaya pengelolaan yang baik akan memperbesar risiko kerusakan lingkungan dan mengancam ketahanan pangan nasional.

Tanah, sebagai medium utama pertumbuhan tanaman, memiliki peran penting dalam mendukung siklus biologis dan kimiawi yang terjadi dalam ekosistem pertanian. Tanah yang sehat tidak hanya mendukung akar tanaman untuk menyerap unsur hara, tetapi juga menjadi habitat mikroorganisme yang berperan penting dalam dekomposisi bahan organik dan daur ulang nutrisi. Sayangnya, praktik pertanian intensif yang tidak memperhatikan aspek konservasi tanah sering kali menyebabkan penurunan kualitas tanah. Akibatnya, kesuburan tanah menurun, struktur tanah rusak, dan produktivitas lahan pun menurun secara drastis. Montanarella *et al.* (2015) menekankan bahwa pengelolaan tanah secara berkelanjutan adalah langkah strategis dalam menjaga produktivitas dan keberlanjutan pertanian.

b. Degradasi Tanah dan Tantangan Produksi

Degradasi tanah merupakan ancaman serius bagi keberlanjutan sektor pertanian, baik secara global maupun di tingkat nasional. Menurut laporan FAO (2017), lebih dari 33% lahan pertanian dunia telah mengalami degradasi sedang hingga

berat sebagai akibat dari praktik pengelolaan lahan yang tidak berkelanjutan. Di Indonesia, tantangan ini semakin diperparah dengan konversi lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian seperti perumahan, industri, dan infrastruktur, yang mengurangi luas lahan produktif secara signifikan. Akibatnya, petani terpaksa mengintensifkan pemanfaatan lahan yang tersisa, yang jika tidak dikelola dengan baik, justru mempercepat degradasi dan kehilangan kesuburan tanah.

Salah satu faktor utama penyebab degradasi tanah adalah penggunaan pupuk kimia dan pestisida secara berlebihan. Meskipun tujuan awalnya adalah meningkatkan hasil produksi, praktik ini justru menyebabkan penumpukan residu bahan kimia di dalam tanah, menurunkan kandungan organik tanah, dan merusak komunitas mikroba tanah yang penting bagi siklus hara. Selain itu, sistem irigasi yang tidak efisien menyebabkan kelebihan air, erosi, dan akumulasi garam (*salinisasi*) yang merusak struktur tanah. Dampaknya tidak hanya pada penurunan produktivitas lahan, tetapi juga pada kualitas hasil pertanian dan daya dukung lingkungan dalam jangka panjang.

c. Efisiensi Penggunaan Air dalam Pertanian

Sektor pertanian menyerap sekitar 70% dari total konsumsi air tawar global, menjadikannya pengguna utama sumber daya air. Namun demikian, tingginya konsumsi tersebut tidak selalu sebanding dengan efisiensi penggunaannya. Di banyak negara, khususnya di wilayah beriklim kering atau berkembang, sistem irigasi yang digunakan masih bersifat tradisional dan memiliki tingkat efisiensi yang rendah. Kehilangan air akibat penguapan, perembesan, dan distribusi yang tidak merata bisa mencapai hingga 60%, yang berdampak pada pemborosan sumber daya serta menimbulkan tekanan pada cadangan air tanah dan permukaan.

Untuk menjawab tantangan tersebut, inovasi dalam sistem irigasi menjadi sangat penting dalam pengelolaan air secara berkelanjutan. Salah satu teknologi yang telah terbukti meningkatkan efisiensi adalah sistem irigasi tetes (*drip irrigation*), yang bekerja dengan cara menyalurkan air langsung ke akar tanaman secara perlahan dan konsisten. Teknologi ini

tidak hanya mengurangi pemborosan air, tetapi juga meningkatkan hasil panen dan mengurangi pertumbuhan gulma.

d. Diversifikasi dan Ketahanan Pangan

Diversifikasi pertanian merupakan strategi penting dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang bertujuan meningkatkan efisiensi lahan, air, dan *input* pertanian lainnya. Ketergantungan terhadap satu jenis komoditas, seperti padi atau jagung, menimbulkan kerentanan tinggi terhadap perubahan iklim, serangan hama, dan fluktuasi harga pasar. Dengan diversifikasi, risiko tersebut dapat ditekan, karena kegagalan satu komoditas dapat ditutupi oleh keberhasilan komoditas lainnya. Pengelolaan SDA yang mendukung keragaman komoditas menjamin stabilitas pendapatan petani serta menjaga keberlanjutan produksi pangan dalam jangka panjang (Pretty *et al.*, 2018).

Diversifikasi juga memberikan peluang optimalisasi pemanfaatan SDA. Misalnya, lahan pertanian dapat dibagi dalam sistem tumpangsari atau intercropping, di mana berbagai jenis tanaman ditanam bersama secara harmonis sesuai dengan kebutuhan air, cahaya, dan hara yang berbeda. Di sisi lain, limbah dari satu sektor (seperti kotoran ternak) dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik untuk sektor lain (tanaman), sehingga tercipta sistem pertanian sirkular yang minim limbah. Integrasi tanaman pangan, hortikultura, dan ternak tidak hanya mendukung efisiensi penggunaan lahan dan air, tetapi juga meningkatkan ketahanan pangan di tingkat rumah tangga dan komunitas.

e. Perubahan Iklim dan Adaptasi Pertanian

Perubahan iklim memiliki dampak yang signifikan terhadap sektor pertanian, terutama dalam hal ketahanan pangan. Kenaikan suhu global, perubahan pola curah hujan, dan meningkatnya frekuensi bencana alam seperti banjir dan kekeringan dapat mengganggu siklus pertumbuhan tanaman dan mengurangi hasil produksi. Sebagai sektor yang sangat bergantung pada kondisi alam, pertanian menghadapi tantangan besar dalam menyesuaikan diri dengan perubahan iklim yang semakin intensif. Oleh karena itu, pengelolaan sumber daya alam

yang adaptif dan berbasis iklim menjadi suatu keharusan untuk menjaga ketahanan sektor pertanian di masa depan.

Salah satu langkah penting dalam adaptasi terhadap perubahan iklim adalah pemilihan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi ekstrem, seperti kekeringan atau banjir. Pengembangan dan penggunaan varietas tanaman yang memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, serta yang lebih efisien dalam penggunaan air, dapat meningkatkan keberhasilan produksi meskipun dalam kondisi yang tidak menentu. Selain itu, teknik pertanian seperti konservasi air dan irigasi efisien menjadi sangat penting untuk memastikan ketersediaan air bagi tanaman meskipun cuaca menjadi semakin tidak terprediksi. Sistem pertanian yang berbasis pada penggunaan teknologi ramah lingkungan dan berbasis iklim akan sangat mendukung ketahanan sektor ini.

2. Urgensi Pengelolaan SDA dalam Sektor Perikanan

a. Ekosistem Perairan dan Ketergantungan Perikanan

Sektor perikanan, baik yang berbasis pada tangkapan alam maupun budidaya, sangat bergantung pada ekosistem perairan yang sehat. Kualitas air, keberagaman hayati, serta kestabilan stok ikan adalah faktor-faktor kunci yang menentukan keberhasilan sektor ini. Ekosistem perairan yang terganggu dapat mengancam kelangsungan hidup spesies ikan dan organisme laut lainnya, yang pada gilirannya mengganggu produksi perikanan. Oleh karena itu, penting untuk mengelola ekosistem perairan dengan cara yang berkelanjutan guna memastikan ketahanan stok ikan dan keseimbangan ekosistem laut yang vital bagi kehidupan manusia dan ekosistem itu sendiri (Pauly *et al.*, 2003). Namun, tanpa pengelolaan yang tepat, ekosistem perairan dapat mengalami degradasi yang serius. Salah satu ancaman terbesar adalah *Overfishing*, yang menyebabkan penurunan populasi ikan dan mengganggu rantai makanan di laut. Praktik penangkapan ikan yang tidak terkelola dengan baik mengurangi kapasitas regenerasi stok ikan dan mengancam keberlanjutan ekosistem laut.

b. *Overfishing* dan Penangkapan Ikan Berkelanjutan

Overfishing atau penangkapan ikan berlebihan merupakan salah satu ancaman terbesar terhadap keberlanjutan sektor perikanan global. Menurut FAO (2022), sekitar 34% stok ikan dunia telah dieksploitasi melebihi batas yang dapat dipulihkan, menyebabkan penurunan populasi ikan yang signifikan. Praktik ini tidak hanya merugikan ekosistem laut, tetapi juga menurunkan hasil tangkapan yang dapat diperoleh oleh nelayan di masa depan. Di Indonesia, masalah ini semakin diperburuk dengan adanya penangkapan ikan ilegal dan penggunaan alat tangkap destruktif yang merusak habitat laut dan mengurangi populasi ikan. Oleh karena itu, pengelolaan sumber daya perikanan yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk mengatasi permasalahan ini.

Salah satu pendekatan yang efektif untuk mengelola stok ikan adalah dengan menggunakan konsep *Maximum Sustainable Yield* (MSY). MSY adalah hasil tangkapan maksimum yang dapat diperoleh dari stok ikan tanpa menyebabkan kerusakan jangka panjang pada populasi ikan tersebut. Konsep ini bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara tingkat eksploitasi dan kapasitas alam untuk memulihkan populasi ikan. Dengan menerapkan prinsip MSY, pengelolaan perikanan dapat dilakukan secara berkelanjutan, memastikan bahwa stok ikan tetap tersedia untuk generasi mendatang. Pengelolaan berbasis kuota dan zona tangkap juga dapat membantu mengontrol tingkat penangkapan dan memberikan kesempatan bagi stok ikan untuk berkembang biak.

c. Perikanan Budidaya dan Pengelolaan Lingkungan

Akuakultur, atau budidaya ikan, telah berkembang menjadi alternatif yang penting dalam memenuhi kebutuhan protein global, terutama untuk mendukung ketahanan pangan. Namun, seiring dengan peningkatan produksi ikan melalui budidaya, tantangan besar muncul terkait dampak lingkungan. Pengelolaan yang buruk dalam akuakultur dapat menyebabkan pencemaran perairan akibat penggunaan pakan berlebih, limbah organik, dan penggunaan antibiotik dalam pengobatan ikan. Limbah yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari kualitas air, mengurangi oksigen terlarut, dan merusak ekosistem akuatik.

Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan dan menerapkan teknologi yang ramah lingkungan dalam sektor akuakultur.

Salah satu solusi untuk mengurangi dampak lingkungan dari akuakultur adalah dengan mengadopsi sistem *Recirculating Aquaculture Systems* (RAS). Sistem ini menggunakan teknologi sirkulasi air yang memungkinkan air digunakan berulang kali dengan proses penyaringan dan pemurnian untuk menghilangkan kotoran dan limbah sebelum kembali ke kolam. Dengan demikian, RAS dapat mengurangi konsumsi air dan limbah yang dibuang ke lingkungan, serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya. Teknologi ini juga dapat diterapkan pada akuakultur yang lebih intensif, seperti budidaya ikan di daerah terbatas atau di wilayah yang memiliki keterbatasan sumber daya air.

d. Perubahan Iklim dan Ekosistem Laut

Perubahan iklim memiliki dampak signifikan terhadap ekosistem laut yang berdampak langsung pada sektor perikanan. Kenaikan suhu air laut, pengasaman laut, dan perubahan pola curah hujan berkontribusi pada perubahan habitat dan distribusi spesies laut. Suhu laut yang lebih tinggi memengaruhi kesehatan terumbu karang dan kelangsungan hidup spesies ikan tertentu, yang pada gilirannya memengaruhi produksi perikanan. Selain itu, perubahan suhu dapat memengaruhi waktu pemijahan ikan, memperpendek atau memperpanjang siklus reproduksi, sehingga mengganggu stok ikan yang tersedia. Hal ini memicu perubahan pola tangkap dan meningkatkan ketidakpastian dalam keberlanjutan sumber daya perikanan global (Cheung *et al.*, 2017).

Pergeseran stok ikan akibat perubahan iklim dapat menyebabkan konflik antara negara-negara yang berbagi wilayah perairan yang sama. Misalnya, jika spesies ikan berpindah ke wilayah yang lebih dingin akibat peningkatan suhu laut, negara yang sebelumnya tidak terpengaruh dapat menghadapi perubahan dalam distribusi tangkapan ikan. Negara-negara yang bergantung pada perikanan sebagai sumber daya utama akan berhadapan dengan masalah alokasi sumber daya yang lebih terbatas dan potensi perselisihan dengan negara-negara tetangga. Hal ini menunjukkan pentingnya kerjasama internasional dalam

pengelolaan perikanan dan perairan di tengah perubahan iklim yang terus berkembang.

e. Keterlibatan Masyarakat dalam Pengelolaan SDA Laut

Keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan sumber daya alam laut semakin diakui sebagai pendekatan yang efektif dalam memastikan keberlanjutan ekosistem perairan. Salah satu model yang sering diterapkan adalah *Community-Based Fisheries Management* (CBFM), di mana masyarakat pesisir diberikan peran aktif dalam mengelola dan melestarikan sumber daya laut di sekitar. Masyarakat pesisir memiliki pengetahuan lokal yang telah terbentuk selama bertahun-tahun terkait dengan pola migrasi ikan, musim pemijahan, dan lokasi penangkapan ikan yang ramah lingkungan. Pengakuan terhadap kearifan lokal ini memungkinkan penyesuaian pengelolaan perikanan dengan kondisi ekosistem yang lebih spesifik dan dinamis, menjadikannya lebih efektif dan berkelanjutan.

Pendekatan berbasis komunitas, seperti pengaturan zona tangkap, larangan musim tangkap, dan pembatasan jenis peralatan penangkapan ikan, sering kali berhasil mengurangi *Overfishing* dan kerusakan ekosistem laut. Misalnya, di banyak wilayah timur Indonesia, seperti Maluku dan Papua, model CBFM telah terbukti membantu mengurangi eksploitasi yang tidak berkelanjutan dan mendorong peningkatan populasi ikan serta keberagaman hayati laut. Melalui pembentukan peraturan yang diterima oleh komunitas lokal, pemantauan bersama, serta pengawasan yang dilakukan oleh masyarakat setempat, keberhasilan pengelolaan perikanan ini jauh lebih terjamin.

C. Prinsip-Prinsip Keberlanjutan dalam Pengelolaan SDA

Keberlanjutan (*sustainability*) secara umum didefinisikan sebagai kemampuan untuk memenuhi kebutuhan generasi masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan. Dalam konteks SDA, keberlanjutan berarti menjaga kapasitas regeneratif sumber daya alam, menghindari kerusakan ekologis yang tidak dapat dipulihkan, serta memastikan keadilan distribusi manfaat.

1. Prinsip Efisiensi dan Produktivitas

Prinsip efisiensi dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA) mengacu pada penggunaan sumber daya secara optimal untuk memaksimalkan hasil dengan meminimalkan pemborosan. Dalam sektor pertanian, efisiensi penting untuk memastikan bahwa setiap unit *input*, seperti air, pupuk, dan tenaga kerja, digunakan dengan cara yang paling produktif. Misalnya, penerapan teknologi irigasi hemat air, seperti irigasi tetes, dapat mengurangi pemborosan air yang selama ini menjadi salah satu masalah terbesar dalam pertanian. Selain itu, pemupukan presisi yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman dapat mengurangi penggunaan pupuk berlebihan, yang berpotensi mencemari tanah dan air (Pretty *et al.*, 2018). Praktik rotasi tanaman juga merupakan langkah penting untuk menjaga kesuburan tanah dan mengurangi ketergantungan pada *input* kimia.

Di sektor perikanan, efisiensi diterapkan dengan cara yang serupa melalui pengelolaan kuota tangkap yang berbasis pada data stok ikan yang tersedia. Dengan menggunakan data ilmiah untuk menentukan batas tangkap yang aman, efisiensi sumber daya perikanan dapat dicapai tanpa merusak populasi ikan atau ekosistem laut. Hal ini juga berkontribusi pada pengelolaan perikanan yang berkelanjutan, dengan memastikan bahwa jumlah ikan yang ditangkap tidak melebihi kapasitas alam untuk memulihkan diri. Pengelolaan berbasis ekosistem juga memastikan bahwa aktivitas perikanan tidak merusak habitat laut yang penting.

Pada sektor energi, efisiensi juga menjadi fokus utama dalam mengurangi dampak lingkungan dan ketergantungan pada energi fosil. Penerapan teknologi efisiensi energi dalam industri dan sektor domestik, seperti penggunaan peralatan hemat energi dan penerapan sistem manajemen energi yang cerdas, dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Lebih lanjut, dalam konteks pembangunan rendah karbon, efisiensi energi menjadi bagian integral dari strategi mitigasi perubahan iklim, dengan tujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sambil memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat.

2. Prinsip Daya Dukung dan Daya Tampung

Prinsip daya dukung (*carrying capacity*) merujuk pada kemampuan suatu ekosistem untuk mendukung aktivitas manusia tanpa mengalami kerusakan atau degradasi yang tidak dapat diperbaiki. Setiap

ekosistem memiliki batas kemampuan untuk menyerap dampak dari aktivitas manusia, seperti pertanian, industri, atau pembangunan. Oleh karena itu, pengelolaan sumber daya alam (SDA) harus memperhitungkan daya dukung ini untuk memastikan bahwa pemanfaatannya tetap berkelanjutan. Misalnya, dalam pengelolaan tanah, batas daya dukung tanah menentukan berapa banyak pertanian atau pembangunan yang dapat dilakukan tanpa merusak kualitas tanah atau mengurangi kemampuannya untuk mendukung kehidupan tanaman dan mikroorganisme tanah (Harris *et al.*, 2016).

Pada sektor kehutanan, konsep daya dukung diterapkan melalui prinsip *Maximum Sustainable Yield* (MSY), yang digunakan untuk menentukan volume tebangan kayu yang dapat diambil dari hutan tanpa merusak ekosistem hutan itu sendiri. MSY bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara pemanfaatan sumber daya alam dan kemampuan alam untuk memulihkan dirinya. Dengan menggunakan MSY, pengelola hutan dapat memastikan bahwa kegiatan penebangan tidak melebihi kapasitas hutan untuk regenerasi dan mempertahankan fungsi ekologisnya, seperti penyimpanan karbon dan habitat bagi keanekaragaman hayati.

Prinsip daya tampung juga sangat penting dalam sektor pariwisata alam, di mana jumlah pengunjung harus dibatasi untuk mencegah kerusakan ekosistem alami. Dalam taman nasional atau kawasan konservasi, daya tampung ditentukan berdasarkan faktor-faktor seperti ukuran area, kerentanannya terhadap kerusakan, dan kemampuan ekosistem untuk pulih dari gangguan. Terlalu banyak pengunjung dapat menyebabkan kerusakan pada vegetasi, tanah, dan keanekaragaman hayati, serta mengganggu keseimbangan ekologis.

3. Prinsip Kehati-hatian (*Precautionary Principle*)

Prinsip kehati-hatian (*precautionary principle*) adalah pendekatan yang menekankan perlunya mengambil tindakan pencegahan untuk melindungi lingkungan dan kesehatan manusia, meskipun bukti ilmiah mengenai potensi bahaya suatu tindakan belum sepenuhnya tersedia. Prinsip ini bertujuan untuk menghindari kerusakan serius atau tidak dapat dipulihkan yang dapat timbul dari aktivitas manusia terhadap ekosistem. Dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA), prinsip kehati-hatian sangat relevan karena banyak dampak

ekologis yang terjadi secara kumulatif dan baru terasa dalam jangka panjang.

Contoh penerapan prinsip ini dapat ditemukan dalam regulasi terhadap penggunaan pestisida. Beberapa pestisida yang digunakan dalam pertanian dapat memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap ekosistem, seperti kontaminasi tanah, pencemaran air, dan kerusakan pada keanekaragaman hayati. Sebelum ada bukti ilmiah yang meyakinkan mengenai dampak jangka panjang pestisida tersebut, prinsip kehati-hatian mendorong adanya larangan atau pembatasan penggunaannya. Hal ini membantu untuk menghindari kerusakan ekologis yang mungkin tidak dapat diperbaiki, serta melindungi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya dari risiko yang belum diketahui sepenuhnya.

Penerapan prinsip kehati-hatian juga penting dalam konteks pembangunan dan perubahan penggunaan lahan, seperti reklamasi pantai. Reklamasi pantai dapat menyebabkan kerusakan ekosistem pesisir yang krusial, seperti terumbu karang, mangrove, dan habitat biota laut lainnya. Sebelum melakukan reklamasi, diperlukan kajian dampak lingkungan yang menyeluruh untuk memastikan bahwa pembangunan tersebut tidak akan merusak fungsi ekosistem yang vital bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Tanpa adanya bukti kuat mengenai keamanannya, prinsip kehati-hatian mendorong untuk menghindari atau menunda tindakan yang dapat menyebabkan kerusakan jangka panjang.

4. Prinsip Keadilan Antar dan Intra Generasi

Prinsip keadilan antar dan intra generasi merupakan salah satu pilar penting dalam konsep keberlanjutan. Keadilan antar generasi (*intergenerational equity*) menekankan bahwa kita memiliki tanggung jawab untuk menjaga keberlanjutan sumber daya alam bagi generasi yang akan datang. Ini berarti kita harus memastikan bahwa pemanfaatan sumber daya alam hari ini tidak mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan. Sebaliknya, keadilan intra generasi (*intragenerational equity*) memastikan bahwa sumber daya alam dapat diakses secara adil oleh seluruh kelompok dalam satu generasi, tanpa ada yang tertinggal atau dirugikan dalam proses distribusi dan penggunaan sumber daya tersebut (Bakker, 2010).

Di banyak daerah, khususnya di Indonesia, ketimpangan akses terhadap lahan dan sumber daya alam sering menjadi penyebab utama

konflik agraria. Masyarakat lokal sering kali terpinggirkan dalam alokasi lahan dan hak atas sumber daya alam, meskipun bergantung pada sumber daya tersebut untuk kelangsungan hidupnya. Dalam konteks ini, prinsip keadilan sosial harus diterapkan secara tegas dalam kebijakan pengelolaan sumber daya alam. Kebijakan yang adil dan inklusif akan memastikan bahwa hak-hak masyarakat lokal diakui dan dihormati, serta bahwa distribusi manfaat dari sumber daya alam dilakukan dengan cara yang merata.

Ketimpangan dalam distribusi sumber daya alam tidak hanya menciptakan ketidakadilan sosial, tetapi juga dapat menghambat pembangunan yang berkelanjutan. Ketika sebagian besar manfaat sumber daya alam hanya dinikmati oleh segelintir orang atau perusahaan besar, sementara sebagian besar masyarakat tidak merasakan dampaknya, maka ketimpangan ekonomi dan sosial akan semakin besar. Ini pada akhirnya dapat memicu ketegangan sosial dan menurunkan kualitas hidup sebagian besar penduduk.

5. Prinsip Partisipasi dan Tata Kelola yang Baik

Prinsip partisipasi dan tata kelola yang baik (*good governance*) merupakan aspek kunci dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang berkelanjutan. Partisipasi publik memastikan bahwa seluruh pemangku kepentingan, termasuk masyarakat adat, sektor swasta, dan organisasi masyarakat sipil, memiliki kesempatan untuk terlibat dalam proses pengambilan keputusan. Keterlibatan ini sangat penting untuk memastikan bahwa kebijakan yang diambil mencerminkan kebutuhan lokal dan dapat diterima oleh masyarakat. Dengan adanya partisipasi yang inklusif, keputusan pengelolaan SDA menjadi lebih transparan dan adil, mengurangi potensi konflik dan meningkatkan rasa kepemilikan atas kebijakan yang diterapkan.

Good governance dalam pengelolaan SDA mencakup prinsip-prinsip akuntabilitas, transparansi, efektivitas, dan supremasi hukum. Akuntabilitas mengharuskan setiap pihak yang terlibat dalam pengelolaan SDA untuk bertanggung jawab atas tindakannya dan hasil yang dicapai. Transparansi memastikan bahwa proses pengambilan keputusan dapat dipantau oleh publik, sehingga kebijakan yang diambil dapat dipertanggungjawabkan. Efektivitas mengacu pada kemampuan kebijakan untuk mencapai tujuan keberlanjutan, sedangkan supremasi hukum memastikan bahwa semua pihak mematuhi peraturan dan hukum

yang berlaku, sehingga tercipta kestabilan dan kepastian dalam pengelolaan SDA.

Tanpa tata kelola yang baik, meskipun kebijakan yang diambil telah berorientasi pada keberlanjutan, implementasinya bisa gagal. Hal ini bisa terjadi karena lemahnya koordinasi antar instansi pemerintah, rendahnya kualitas pengawasan, atau ketidakmampuan untuk menegakkan aturan yang ada. Selain itu, tanpa keterlibatan aktif masyarakat dan pihak-pihak terkait, kebijakan sering kali terlepas dari realitas dan kebutuhan di lapangan, yang berpotensi menimbulkan resistensi dan kegagalan dalam pencapaian tujuan keberlanjutan.

6. Prinsip Daur Ulang dan Ekonomi Sirkular

Prinsip daur ulang dan ekonomi sirkular semakin diterapkan dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA) sebagai salah satu langkah untuk mencapai keberlanjutan. Ekonomi sirkular berfokus pada pengurangan limbah dan optimalisasi pemanfaatan bahan-bahan yang ada dengan menciptakan siklus berkelanjutan di mana barang dan bahan dipakai kembali sebanyak mungkin. Alih-alih membuang produk yang sudah tidak terpakai, prinsip ini mengubahnya menjadi sumber daya yang dapat digunakan dalam proses produksi baru. Pendekatan ini mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Contoh konkret penerapan prinsip ini terlihat dalam sektor pertanian, di mana limbah pertanian seperti sisa tanaman dan kotoran hewan dimanfaatkan kembali sebagai kompos untuk menyuburkan tanah. Dengan cara ini, petani tidak hanya mengurangi jumlah limbah, tetapi juga meningkatkan kualitas tanah tanpa bergantung pada pupuk kimia. Di sektor perikanan, limbah ikan yang biasanya dibuang, kini diolah menjadi bahan pakan ternak, yang mendukung keberlanjutan dalam produksi pakan serta mengurangi pemborosan. Penggunaan limbah perikanan sebagai pakan juga mengurangi beban pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah tersebut di lingkungan.

Prinsip ekonomi sirkular juga diterapkan dalam pengelolaan air limbah industri. Air limbah yang sebelumnya dianggap sebagai polusi dapat diolah dan dimanfaatkan untuk irigasi setelah melalui proses pengolahan yang sesuai. Teknologi pengolahan air limbah industri memungkinkan untuk mengurangi pemakaian air tawar yang terbatas, sekaligus mengurangi dampak pencemaran pada lingkungan perairan.

Dengan mengalihkan air limbah menjadi sumber daya yang dapat digunakan kembali, prinsip ini turut mendukung efisiensi dalam penggunaan air di sektor industri.



BAB II

SUMBER DAYA PERTANIAN

Pertanian merupakan salah satu sektor fundamental dalam pembangunan ekonomi dan ketahanan pangan, terutama bagi negara-negara berkembang. Kegiatan pertanian tidak hanya bergantung pada tenaga kerja dan teknologi, tetapi juga pada kualitas dan kuantitas sumber daya alam yang digunakan, seperti tanah, air, iklim, dan keanekaragaman hayati.

Sumber daya pertanian mencakup berbagai unsur alam yang mendukung kegiatan produksi pangan, pakan, dan bahan baku industri. Tanah sebagai media tumbuh tanaman berperan vital dalam menentukan hasil pertanian, sementara air merupakan komponen utama dalam siklus kehidupan pertanian, baik dalam sistem irigasi tradisional maupun modern. Selain itu, keanekaragaman hayati dalam bentuk varietas tanaman lokal, mikroorganisme tanah, serta fauna penunjang ekosistem juga berperan dalam menciptakan sistem pertanian yang tangguh terhadap gangguan lingkungan dan perubahan iklim.

Dengan meningkatnya tekanan terhadap lahan, degradasi lingkungan, serta perubahan iklim global, maka diperlukan pendekatan yang inovatif dan berwawasan lingkungan dalam pengelolaan sumber daya pertanian. Pendekatan seperti teknologi ramah lingkungan, pertanian konservasi, serta sistem agroekologi menjadi bagian penting dalam menciptakan ketahanan sistem pertanian di masa depan.

A. Jenis dan Karakteristik Sumber Daya Pertanian

Sektor pertanian merupakan fondasi utama ketahanan pangan, keberlanjutan lingkungan, dan pembangunan ekonomi, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Keberhasilan pertanian sangat ditentukan oleh pengelolaan sumber daya yang tersedia. Sumber daya pertanian tidak hanya mencakup lahan dan air, tetapi juga manusia,

modal, teknologi, serta keanekaragaman hayati yang menopang produktivitas dan keberlanjutan sistem produksi. Pengelolaan sumber daya pertanian memerlukan pemahaman menyeluruh mengenai jenis, karakteristik, potensi, serta keterbatasannya. Seiring dengan tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan pertumbuhan populasi, pemanfaatan sumber daya pertanian secara efisien dan berkelanjutan menjadi semakin penting. Sumber daya pertanian adalah segala bentuk *input* alamiah dan buatan yang digunakan dalam proses produksi pertanian untuk menghasilkan komoditas pangan, pakan, serat, dan energi. Sumber daya ini meliputi faktor alam (tanah, air, iklim), hayati (tanaman, hewan, mikroorganisme), manusia, teknologi, modal, dan informasi (Van Ittersum & Rabbinge, 1997).

1. Sumber Daya Tanah

Tanah merupakan elemen yang sangat penting dalam sektor pertanian karena merupakan media utama bagi pertumbuhan tanaman. Tanah menyediakan unsur hara yang diperlukan tanaman untuk tumbuh, serta air, oksigen, dan tempat bertumbuhnya akar. Karakteristik tanah yang memengaruhi pertanian meliputi tekstur, struktur, kedalaman, kandungan bahan organik, kapasitas tukar kation (KTK), pH, dan kemampuan drainase. Faktor-faktor ini menentukan kualitas tanah dalam mendukung berbagai jenis tanaman. Tanah yang memiliki struktur baik dan kandungan bahan organik yang cukup akan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang karakteristik tanah sangat penting dalam menentukan jenis tanaman yang dapat ditanam serta teknik pertanian yang tepat (Weil *et al.*, 2017).

Di Indonesia, keragaman jenis tanah sangat tinggi, yang memberikan potensi besar untuk pengembangan pertanian. Tanah aluvial, andosol, latosol, regosol, dan podsolik merah kuning memiliki karakteristik dan kesesuaian penggunaan lahan yang berbeda. Tanah andosol, yang berasal dari letusan gunung berapi, memiliki kandungan unsur hara yang tinggi dan sangat cocok untuk pertanian hortikultura. Sebaliknya, tanah podsolik yang bersifat masam memerlukan perlakuan khusus, seperti pengapuran, agar dapat digunakan untuk pertanian. Pemahaman tentang jenis tanah ini memungkinkan petani untuk memilih jenis tanaman yang sesuai serta mengoptimalkan hasil pertanian.

Tantangan utama yang dihadapi oleh tanah pertanian di Indonesia adalah degradasi tanah, yang meliputi erosi, pencemaran, dan konversi lahan menjadi lahan non-pertanian. Degradasi tanah mengurangi kesuburan tanah dan berkontribusi terhadap penurunan produktivitas pertanian secara signifikan. Proses erosi menyebabkan hilangnya lapisan tanah subur, sedangkan pencemaran tanah oleh pestisida dan bahan kimia lainnya semakin memperburuk kondisi tanah. Konversi lahan pertanian menjadi kawasan industri atau perumahan semakin mengurangi luas lahan pertanian yang tersedia, sehingga mengancam ketahanan pangan di masa depan.

2. Sumber Daya Air

Air merupakan sumber daya yang sangat penting dalam sektor pertanian, karena hampir semua aktivitas pertanian memerlukan air, baik untuk irigasi, peternakan, maupun pengolahan pascapanen. Dalam konteks global, sekitar 70% dari konsumsi air tawar digunakan untuk pertanian (FAO, 2021), menjadikannya sektor yang paling bergantung pada ketersediaan air. Ketersediaan dan kualitas air sangat memengaruhi hasil pertanian, karena tanaman memerlukan air yang cukup dan berkualitas baik untuk tumbuh optimal. Tanpa pengelolaan yang baik, kekurangan air atau kualitas air yang buruk dapat menurunkan hasil pertanian dan mempengaruhi ketahanan pangan secara global.

Sumber daya air untuk pertanian berasal dari tiga jenis utama: air permukaan, air tanah, dan air hujan. Air permukaan seperti sungai, danau, dan bendungan menjadi sumber utama untuk irigasi di banyak daerah. Sementara itu, air tanah yang diperoleh dari sumur dangkal maupun sumur dalam juga sering digunakan, terutama di daerah yang kekurangan sumber air permukaan. Selain itu, air hujan, yang tergantung pada pola curah hujan, juga sangat penting, terutama bagi pertanian rainfed yang bergantung sepenuhnya pada curah hujan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Masing-masing sumber daya ini memiliki tantangan dan peluang tersendiri dalam penggunaannya.

Karakteristik air yang baik untuk pertanian mencakup pH yang sesuai, rendahnya salinitas, serta kandungan logam berat yang minimal. Air dengan salinitas tinggi atau yang terkontaminasi oleh logam berat dapat merusak tanaman dan mengurangi hasil pertanian. Selain itu, kontinuitas pasokan air juga menjadi hal yang krusial dalam pengelolaan pertanian. Di banyak wilayah, ketergantungan pada sistem irigasi yang

tidak efisien menyebabkan pemborosan air, yang pada gilirannya merusak tanah akibat salinisasi dan penurunan kualitas tanah secara keseluruhan (Grafton *et al.*, 2018).

3. Sumber Daya Iklim dan Cuaca

Iklim memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan produktivitas tanaman, terutama melalui faktor-faktor seperti suhu, curah hujan, kelembapan, dan radiasi matahari. Di negara tropis seperti Indonesia, iklim muson sangat mempengaruhi pola musim tanam dan budidaya. Curah hujan yang tinggi dan suhu yang relatif stabil sepanjang tahun memungkinkan pertanian berlangsung dalam siklus yang teratur. Namun, ketergantungan pada pola iklim ini juga menjadikan sektor pertanian rentan terhadap perubahan iklim yang dapat mengubah pola musim hujan dan kekeringan.

Perubahan iklim telah menambah tantangan besar bagi sektor pertanian di berbagai belahan dunia. Meningkatnya suhu global, yang telah tercatat naik 1,1°C sejak era pra-industri (IPCC, 2021), menyebabkan dampak langsung terhadap hasil pertanian. Peningkatan suhu ini mempengaruhi kemampuan tanaman dalam melakukan fotosintesis dan mengurangi ketahanan tanaman terhadap kekeringan, banjir, serta serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Di Indonesia, fenomena ini semakin memperburuk ketahanan pangan karena frekuensi bencana alam seperti banjir dan kekeringan yang semakin meningkat, mempengaruhi kestabilan produksi pertanian.

Perubahan iklim juga memengaruhi pola curah hujan yang tidak menentu, sehingga menyebabkan ketidakpastian dalam musim tanam. Ketidakteraturan musim ini dapat mengganggu siklus produksi pertanian, karena tanaman seringkali ditanam pada waktu yang tidak sesuai dengan ketersediaan air atau suhu yang mendukung. Bencana alam seperti kekeringan atau banjir dapat merusak tanaman secara langsung, sementara serangan OPT juga meningkat karena perubahan suhu yang mempengaruhi siklus hidup organisme tersebut.

4. Sumber Daya Hayati

Sumber daya hayati meliputi tanaman budidaya, hewan ternak, mikroorganisme, dan organisme tanah (biota tanah) yang menjadi inti sistem pertanian.

a. Tanaman dan Varietas Unggul

Konservasi dan pengembangan varietas unggul menjadi kunci penting dalam meningkatkan ketahanan pangan dan keberlanjutan sektor pertanian. Varietas lokal yang telah beradaptasi dengan kondisi lingkungan setempat memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap penyakit, hama, dan perubahan iklim. Di banyak wilayah, varietas lokal juga memiliki kandungan nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan varietas komersial yang diperkenalkan.

Pengembangan varietas hibrida yang lebih unggul juga sangat dibutuhkan untuk meningkatkan hasil pertanian. Varietas hibrida, yang merupakan hasil persilangan antara dua varietas yang berbeda, dapat menghasilkan tanaman dengan ketahanan yang lebih tinggi terhadap kekeringan, salinitas, serta berbagai penyakit tanaman. Selain itu, hibrida dapat mempercepat pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil panen, yang sangat penting untuk memenuhi permintaan pangan global yang terus meningkat. Meskipun demikian, pengembangan varietas hibrida harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak mengurangi keberagaman genetik dalam pertanian, yang dapat mengancam ketahanan sistem pertanian dalam jangka panjang.

Salah satu pendekatan yang semakin populer adalah pengembangan varietas yang dapat beradaptasi dengan perubahan iklim, seperti tanaman yang lebih tahan terhadap kekeringan atau panas ekstrem. Ini sangat penting di tengah ancaman perubahan iklim yang semakin nyata, di mana pola cuaca yang tidak menentu dapat mengganggu musim tanam tradisional.

b. Ternak

Ternak berperan penting dalam sistem pertanian, terutama dalam produksi pangan dan pemenuhan kebutuhan ekonomi masyarakat. Berbagai jenis ternak, seperti sapi, kambing, ayam, dan itik, memiliki karakteristik yang berbeda-beda dalam hal konversi pakan, kebutuhan air, dan potensi ekonomi. Misalnya, sapi memiliki kebutuhan pakan yang lebih besar dibandingkan kambing atau ayam, tetapi dapat menghasilkan produk bernilai tinggi seperti daging, susu, dan kulit. Selain itu, sapi juga

berperan dalam pengolahan tanah melalui penggunaan tenaga untuk membajak.

Kambing dan ayam, di sisi lain, memiliki keunggulan dalam efisiensi konversi pakan. Kambing lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang keras dan dapat diberi pakan yang lebih bervariasi, menjadikannya pilihan yang lebih fleksibel untuk peternak di daerah dengan sumber daya terbatas. Ayam, dengan siklus hidup yang relatif singkat, dapat menghasilkan daging dan telur dalam waktu cepat, menjadikannya komoditas yang menguntungkan dan mudah dipasarkan. Ayam juga membutuhkan lebih sedikit air dibandingkan ternak besar, menjadikannya lebih efisien dalam kondisi terbatas.

Itik, meskipun lebih jarang dipelihara, juga memiliki kelebihan dalam produksi telur dan daging, serta kemampuan untuk mengolah pakan yang berbeda. Selain itu, itik dapat berfungsi sebagai pengontrol hama alami karena makan serangga dan tanaman yang mengganggu. Setiap jenis ternak ini memiliki kontribusi signifikan terhadap ketahanan pangan dan pendapatan masyarakat, terutama di daerah pedesaan, yang menunjukkan pentingnya pengelolaan yang tepat untuk memaksimalkan potensi.

c. Mikroorganisme Tanah

Mikroorganisme tanah, seperti *Rhizobium* dan *Mycorrhiza*, berperan yang sangat penting dalam menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah secara alami. *Rhizobium* adalah jenis bakteri yang berasosiasi dengan akar tanaman legum, seperti kedelai, kacang tanah, dan kacang polong. Bakteri ini dapat mengikat nitrogen dari udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman, yang dikenal sebagai *fiksasi nitrogen*. Proses ini membantu mengurangi kebutuhan akan pupuk nitrogen sintesis, yang seringkali dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan degradasi tanah. Dengan meningkatkan ketersediaan nitrogen, *Rhizobium* berkontribusi pada peningkatan hasil panen tanaman legum dan tanaman lainnya yang ditanam dalam rotasi.

Mycorrhiza adalah kelompok jamur yang juga berasosiasi dengan akar tanaman. Jamur ini membantu tanaman dalam menyerap air dan unsur hara, seperti *fosfor* dan *mikroelemen*,

yang tidak dapat diakses secara langsung oleh akar tanaman. Dalam proses ini, jamur *mycorrhiza* membentuk jaringan *hifa* yang memperluas area penyerapan akar, memungkinkan tanaman untuk bertahan lebih baik dalam kondisi tanah yang kurang subur atau kering. Selain itu, *mycorrhiza* juga membantu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen dan stres lingkungan, seperti kekeringan atau kelebihan air, dengan meningkatkan pertumbuhan akar dan kesehatan tanaman secara keseluruhan.

Penggunaan mikroorganisme tanah ini dalam praktik pertanian berkelanjutan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia dan pupuk sintetis, serta membantu mempertahankan kesehatan ekosistem tanah dalam jangka panjang. Dengan meningkatkan kesuburan tanah melalui cara alami, keberadaan mikroorganisme seperti *Rhizobium* dan *Mycorrhiza* sangat penting dalam mendukung produksi pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

5. Sumber Daya Manusia

Sumber daya manusia (SDM) dalam sektor pertanian, seperti petani, buruh tani, penyuluh, dan pelaku agribisnis, berperan yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan sistem pertanian. Kualitas SDM ini tidak hanya mencakup pengetahuan dan keterampilan teknis yang diperlukan untuk mengelola pertanian secara efisien, tetapi juga mencakup sikap yang mendukung kerja keras, inovasi, dan keberlanjutan. Selain itu, faktor kesehatan juga menjadi aspek penting, karena kondisi fisik yang prima memungkinkan petani untuk bekerja lebih efektif dan produktif. Dengan meningkatnya pengetahuan dan keterampilan, SDM pertanian dapat mengadopsi teknologi baru, meningkatkan hasil panen, dan mengelola pertanian dengan cara yang lebih ramah lingkungan.

Sektor pertanian Indonesia menghadapi tantangan signifikan terkait dengan kualitas SDM. Salah satu masalah utama adalah rendahnya tingkat pendidikan di kalangan petani, yang seringkali terbatas pada pendidikan dasar atau menengah. Hal ini berdampak pada kemampuan untuk mengakses dan mengimplementasikan inovasi atau teknologi pertanian yang lebih efisien. Selain itu, sektor pertanian juga mengalami penuaan tenaga kerja, dengan sebagian besar petani berusia lanjut. Kondisi ini memperburuk kurangnya regenerasi, karena generasi

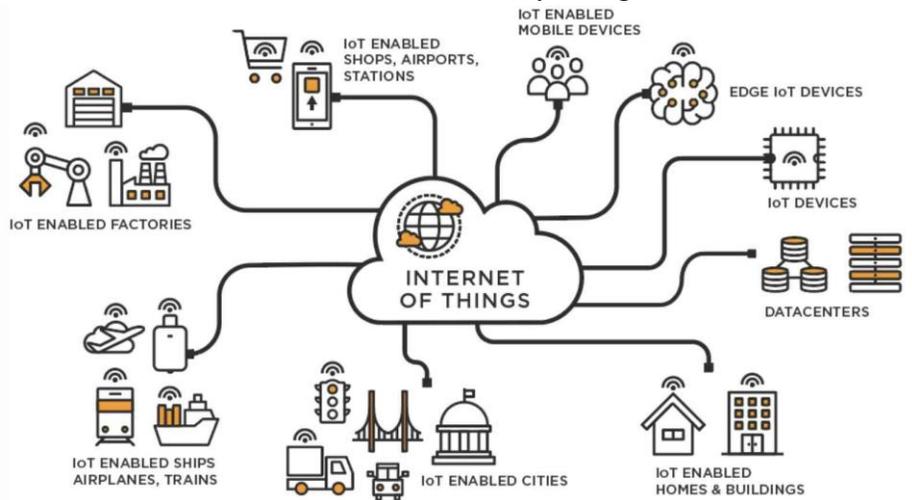
muda cenderung enggan terjun ke dunia pertanian karena faktor ketidakpastian pendapatan dan terbatasnya pengetahuan serta keterampilan yang dimiliki oleh petani sebelumnya.

Untuk menghadapi tantangan ini, program revitalisasi penyuluhan pertanian dan pendidikan vokasi menjadi sangat penting. Penyuluhan yang efektif dapat memberikan informasi teknis dan non-teknis kepada petani, serta memotivasi untuk mengadopsi metode pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Selain itu, pendidikan vokasi pertanian yang menitikberatkan pada keterampilan praktis sangat penting untuk mencetak tenaga kerja muda yang terampil dan siap bekerja di sektor pertanian. Program ini juga dapat meningkatkan kesejahteraan petani, mengurangi ketergantungan pada metode pertanian tradisional yang kurang produktif, dan mendorong peran serta generasi muda dalam mengelola sektor pertanian yang lebih modern dan berkelanjutan.

6. Sumber Daya Modal dan Teknologi

Sumber daya modal dan teknologi merupakan dua komponen penting dalam mendukung pengembangan sektor pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan. Modal tidak hanya mencakup dana yang diperlukan untuk investasi dalam sarana dan prasarana pertanian, seperti peralatan dan pupuk, tetapi juga infrastruktur yang mendukung seperti jalan tani, sistem irigasi, dan gudang penyimpanan hasil pertanian. Tanpa akses yang memadai terhadap modal, petani akan kesulitan untuk membeli alat dan teknologi modern yang dapat meningkatkan produktivitas. Oleh karena itu, penyediaan modal yang mudah diakses oleh petani sangat penting untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih efisien dan produktif.

Gambar 4. *Internet of Things*



Sumber: *Dicoding*

Teknologi pertanian modern berperan penting dalam meningkatkan hasil pertanian, efisiensi penggunaan sumber daya, dan mengurangi dampak lingkungan. Salah satu teknologi yang mulai diterapkan adalah sistem informasi pertanian yang berbasis pada data untuk meningkatkan keputusan dalam pengelolaan pertanian. Teknologi seperti *Internet of Things* (IoT) memungkinkan petani untuk memantau kondisi tanah, cuaca, dan tanaman secara real-time, yang membantu membuat keputusan yang lebih tepat waktu dan berbasis data. Misalnya, sensor tanah dapat memberi informasi tentang kebutuhan air dan nutrisi tanaman, sementara *drone* digunakan untuk memantau kesehatan tanaman di lahan pertanian secara lebih efisien.

Keunggulan teknologi pertanian yang baik adalah kemudahan penggunaannya, biaya yang terjangkau, dan kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi produksi tanpa merusak lingkungan. Salah satu contoh teknologi ramah lingkungan adalah pertanian presisi, yang menggunakan data untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk, air, dan pestisida sehingga mengurangi pemborosan dan dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan teknologi ini, petani dapat meningkatkan hasil panen tanpa harus mengorbankan keberlanjutan ekosistem.

B. Pengelolaan Tanah dan Kesuburan

Tanah merupakan salah satu komponen fundamental dalam sistem pertanian yang berfungsi sebagai media tumbuh tanaman, penyedia hara, penyangga air, serta tempat kehidupan mikroorganisme tanah. Namun, kualitas dan produktivitas tanah tidak dapat dijamin secara terus-menerus tanpa adanya pengelolaan yang baik. Pengelolaan tanah yang berkelanjutan menjadi keharusan untuk menjaga kesuburan tanah, mempertahankan hasil pertanian, serta mencegah degradasi dan kerusakan lingkungan.

Kesuburan tanah secara sederhana dapat didefinisikan sebagai kemampuan tanah menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah dan waktu yang tepat untuk mendukung pertumbuhan optimal (Weil *et al.*, 2017). Dalam konteks pembangunan pertanian berkelanjutan, pengelolaan tanah dan kesuburan tidak hanya menyangkut aspek teknis pemupukan, tetapi juga mencakup konservasi tanah, rotasi tanaman, pengelolaan bahan organik, dan pelestarian biodiversitas tanah (Lal, 2020).

1. Pengelolaan Bahan Organik

Pengelolaan bahan organik merupakan salah satu aspek krusial dalam pemeliharaan kesuburan tanah yang berkelanjutan. Pupuk kandang, kompos, dan pupuk hijau adalah contoh bahan organik yang digunakan untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologis tanah. Bahan organik ini berperan dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), yang memungkinkan tanah untuk menyerap dan mempertahankan unsur hara lebih baik. Selain itu, bahan organik juga meningkatkan porositas tanah, yang mendukung aerasi dan drainase yang lebih baik, serta menyediakan energi bagi mikroorganisme tanah yang esensial dalam proses dekomposisi dan siklus hara (Lehmann & Kleber, 2015).

Penambahan bahan organik juga mendukung keberagaman mikroorganisme tanah. Mikroorganisme ini berperan dalam proses penting seperti fiksasi nitrogen, pembentukan humus, dan dekomposisi bahan organik. Kehadiran mikroorganisme yang sehat di dalam tanah meningkatkan daya tahan tanah terhadap erosi dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Proses-proses

ini sangat penting untuk meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan tanpa merusak ekosistem.

Di Indonesia, penggunaan pupuk organik masih terbatas meskipun bahan-bahan organik seperti pupuk kandang dan kompos tersedia melimpah. Salah satu alasan utama keterbatasan penggunaan bahan organik adalah kurangnya pemahaman dan adopsi teknologi pengolahan pupuk organik oleh petani. Padahal, dengan pendekatan yang tepat, bahan organik dapat dengan mudah diolah dan digunakan dalam pertanian, baik di skala kecil maupun besar. Misalnya, petani dapat memanfaatkan limbah pertanian dan ternak yang ada di sekitar untuk membuat kompos atau pupuk kandang yang dapat meningkatkan kesuburan tanah.

2. Penggunaan Pupuk Secara Tepat

Penggunaan pupuk secara tepat merupakan salah satu kunci utama dalam mendukung keberlanjutan dan efisiensi pertanian. Pupuk anorganik, meskipun memberikan dampak positif yang signifikan dalam meningkatkan hasil pertanian, perlu digunakan secara bijaksana. Penerapan prinsip penggunaan pupuk yang tepat waktu, dosis, dan cara menjadi sangat penting agar pupuk dapat memberikan manfaat maksimal tanpa menimbulkan dampak negatif bagi tanah dan lingkungan. Salah satu konsep yang mendukung hal ini adalah pemupukan berimbang berbasis spesifik lokasi, yang dikenal dengan istilah *site-specific nutrient management* (SSNM).

Konsep SSNM menekankan pada pemupukan yang disesuaikan dengan kondisi tanah, jenis tanaman, dan lokasi tertentu. Hal ini bertujuan untuk memberikan nutrisi yang tepat dengan jumlah yang sesuai, sehingga menghindari kekurangan atau kelebihan unsur hara. Dalam sistem ini, analisis tanah secara berkala dilakukan untuk mengetahui kebutuhan hara yang spesifik pada suatu lahan. Dengan demikian, petani dapat menentukan dosis pupuk yang sesuai dengan kondisi tanah dan kebutuhan tanaman, yang pada gilirannya dapat mengoptimalkan hasil pertanian.

Contoh penerapan SSNM pada lahan sawah menunjukkan hasil yang menggembirakan. Penelitian yang dilakukan oleh *International Rice Research Institute* (IRRI) pada tahun 2019 menunjukkan bahwa penggunaan SSNM di sawah dapat meningkatkan efisiensi pemupukan hingga 25%. Efisiensi ini terjadi karena pupuk yang digunakan benar-

benar sesuai dengan kebutuhan tanaman, mengurangi pemborosan pupuk, dan mencegah terjadinya pencemaran lingkungan akibat penggunaan pupuk yang berlebihan. Selain itu, hasil panen juga meningkat hingga 15%, karena tanaman mendapatkan suplai hara yang optimal dan tumbuh lebih sehat.

3. Konservasi Tanah dan Air

Konservasi tanah dan air merupakan dua komponen penting dalam pertanian berkelanjutan, yang bertujuan untuk menjaga kualitas tanah serta memaksimalkan penggunaan sumber daya air secara efisien. Praktik konservasi tanah bertujuan untuk mencegah erosi, meningkatkan kesuburan tanah, dan menjaga struktur tanah agar tetap optimal bagi pertumbuhan tanaman. Salah satu teknik konservasi tanah yang umum digunakan pada lahan miring adalah terasisasi. Terasisasi menciptakan bentuk teras-teras yang dapat mengurangi kecepatan aliran air hujan dan menghindari erosi, sehingga tanah tetap stabil dan tidak mudah terkikis.

Penanaman penutup tanah atau *cover crop* juga merupakan metode yang efektif dalam konservasi tanah. Tanaman penutup tanah seperti legum atau rumput dapat melindungi permukaan tanah dari hujan langsung dan angin, mengurangi erosi, serta meningkatkan kandungan bahan organik tanah. *Cover crop* juga memiliki manfaat tambahan, yaitu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan keberagaman mikroorganisme yang berperan dalam proses dekomposisi bahan organik. Metode lain yang penting adalah rotasi tanaman dan agroforestri. Rotasi tanaman membantu mencegah kelelahan tanah dan meningkatkan hasil pertanian jangka panjang dengan memberikan waktu bagi tanah untuk pulih. Agroforestri, yang mengintegrasikan pohon dengan tanaman pertanian, juga dapat mengurangi erosi dan memperbaiki kualitas tanah.

Konservasi tanah yang efektif juga memerlukan teknik olah tanah yang konservatif. Minimum tillage atau olah tanah konservasi adalah metode di mana tanah hanya diolah secara minimal atau tidak diolah sama sekali, untuk mempertahankan struktur tanah dan meningkatkan kapasitas retensi air. Dengan mengurangi pengolahan tanah, praktik ini membantu mencegah hilangnya bahan organik, memperbaiki keseimbangan mikroflora tanah, dan mengurangi erosi permukaan.

4. Reklamasi dan Ameliorasi Tanah

Reklamasi dan ameliorasi tanah merupakan proses yang sangat penting untuk mengembalikan fungsi tanah yang terdegradasi dan menjadikannya produktif kembali, terutama untuk pertanian. Tanah bermasalah seperti tanah masam, tanah salin, atau tanah yang tercemar memerlukan perlakuan khusus untuk mengembalikan kesuburannya dan meningkatkan kemampuannya dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Salah satu masalah umum yang ditemukan pada tanah di Indonesia adalah tanah masam yang memiliki pH rendah, yang menghambat ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Untuk mengatasi hal ini, salah satu metode yang paling umum digunakan adalah pengapuran.

Pengapuran bertujuan untuk menaikkan pH tanah, sehingga tanah yang awalnya masam dapat menjadi lebih netral dan mendukung pertumbuhan tanaman dengan lebih baik. Penggunaan kapur pertanian (*kalsium karbonat* atau *dolomit*) dapat menetralkan keasaman tanah dan memperbaiki ketersediaan unsur hara seperti *kalsium*, *magnesium*, dan *fosfor* yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Dalam jangka panjang, pengapuran dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan dalam proses dekomposisi bahan organik.

Tanah yang mengandung natrium tinggi, yang sering ditemukan pada tanah salin, membutuhkan perlakuan berbeda. Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi tanah salin adalah pemberian *gypsum* (*kalsium sulfat*). *Gypsum* membantu menurunkan kadar natrium dalam tanah dengan menggantikan *ion natrium* dengan *ion kalsium*. Proses ini dapat memperbaiki struktur tanah dan mengurangi salinitas yang berpotensi merusak tanaman. Pemberian *gypsum* juga berfungsi untuk memperbaiki daya serap tanah terhadap air dan meningkatkan kelarutan unsur hara, yang pada akhirnya mendukung pertumbuhan tanaman.

Drainase tanah juga merupakan langkah penting dalam ameliorasi tanah salin. Tanah yang terendam air atau memiliki salinitas tinggi dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah dan mempengaruhi kemampuan akar tanaman untuk menyerap air dan nutrisi. Dengan meningkatkan sistem *drainase*, air dapat dikelola lebih baik, mencegah pengendapan garam, dan mengurangi salinitas yang dapat merusak tanah. Teknik *drainase* yang baik juga dapat membantu mencegah erosi dan meningkatkan pengolahan tanah untuk pertanian.

5. Pemanfaatan Teknologi Digital

Pemanfaatan teknologi digital dalam pertanian semakin berkembang dan memberikan dampak positif yang signifikan dalam pengelolaan sumber daya alam, termasuk tanah. Digitalisasi pertanian memungkinkan petani untuk memanfaatkan data yang lebih akurat dalam pengambilan keputusan, mengoptimalkan penggunaan *input* pertanian, serta meningkatkan produktivitas tanah secara berkelanjutan. Salah satu bentuk teknologi yang banyak digunakan adalah sensor tanah yang mampu mengukur berbagai parameter tanah, seperti kelembaban, suhu, pH, dan kadar unsur hara. Dengan adanya sensor ini, petani dapat memperoleh informasi secara real-time tentang kondisi tanah yang dikelola, sehingga tindakan yang diambil bisa lebih tepat sasaran (Simo *et al.*, 2023).

Teknologi pemetaan berbasis citra satelit juga memiliki peran penting dalam pengelolaan tanah. Melalui penggunaan citra satelit, petani dan peneliti dapat memperoleh gambaran yang lebih luas tentang kondisi lahan pertanian, termasuk kondisi kesuburan tanah, distribusi kelembaban, serta potensi kerusakan akibat erosi atau perubahan iklim. Citra satelit memungkinkan analisis yang lebih mendalam dan membantu dalam perencanaan penggunaan lahan jangka panjang. Dengan teknologi ini, pemetaan tanah tidak lagi terbatas pada skala kecil, tetapi bisa dilakukan secara luas dan komprehensif, yang sangat berguna dalam pengelolaan pertanian di daerah yang lebih besar atau terpencil.

Aplikasi digital berbasis Sistem Informasi Geografis (GIS) semakin mendukung keputusan yang lebih berbasis data dan terukur. GIS memungkinkan petani dan penyuluh pertanian untuk memetakan dan menganalisis data geografis yang berhubungan dengan lahan pertanian. Penggunaan GIS dalam pertanian memungkinkan penentuan lokasi yang tepat untuk jenis tanaman tertentu, pemetaan distribusi air, serta identifikasi area yang memerlukan perhatian khusus. Dalam hal ini, teknologi GIS membantu meningkatkan efisiensi pemanfaatan tanah dan mengurangi pemborosan sumber daya.

Salah satu contoh sukses penerapan teknologi digital dalam pertanian adalah penggunaan *Soil Information System* (SIS) yang dikembangkan oleh Balai Penelitian Tanah Indonesia. SIS adalah platform berbasis digital yang memberikan rekomendasi pemupukan berdasarkan kondisi tanah yang terukur di setiap lokasi pertanian. Sistem ini memungkinkan petani untuk mendapatkan informasi yang lebih

akurat mengenai jenis pupuk yang dibutuhkan oleh tanah, kapan waktu yang tepat untuk pemupukan, dan berapa banyak pupuk yang harus digunakan. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pemupukan tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat penggunaan pupuk berlebihan.

C. Sumber Daya Air dalam Pertanian

Sumber daya air memiliki peran yang sangat penting dalam sektor pertanian karena air merupakan faktor pembatas utama dalam produksi tanaman. Lebih dari 70% konsumsi air tawar global digunakan untuk kebutuhan pertanian, khususnya irigasi (FAO, 2021). Oleh karena itu, pengelolaan air yang efisien dan berkelanjutan menjadi sangat krusial dalam menjamin ketahanan pangan, keberlangsungan ekosistem, dan kesejahteraan petani. Di tengah tantangan perubahan iklim, pertumbuhan populasi, dan alih fungsi lahan, sektor pertanian dituntut untuk menggunakan air secara lebih bijak. Ketidakseimbangan antara ketersediaan air dan kebutuhan yang terus meningkat dapat menyebabkan krisis air dan mengancam produktivitas lahan pertanian. Oleh karena itu, pemahaman mengenai karakteristik, potensi, dan manajemen sumber daya air dalam pertanian menjadi sangat penting.

1. Jenis dan Sumber Sumber Daya Air dalam Pertanian

a. Air Permukaan

Air permukaan, yang mencakup sumber air seperti sungai, danau, dan waduk, berperan penting dalam mendukung kegiatan pertanian. Sebagai sumber utama untuk irigasi, air permukaan memberikan jumlah air yang relatif besar dan terjangkau di berbagai wilayah. Sistem irigasi permukaan, yang memanfaatkan aliran air dari sungai atau saluran terbuka lainnya, memungkinkan distribusi air yang merata ke lahan pertanian, yang sangat mendukung produktivitas tanaman, terutama pada musim kemarau atau saat curah hujan rendah. Penggunaan air permukaan juga memiliki potensi untuk menyokong pertanian dalam skala besar dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan sumber air lainnya.

Meskipun air permukaan menawarkan keuntungan dalam hal kuantitas, penggunaannya juga menghadapi beberapa

tantangan. Salah satu masalah utama adalah sedimentasi, yang dapat mengurangi kapasitas waduk atau saluran irigasi. Selain itu, pencemaran air, baik yang berasal dari aktivitas pertanian, industri, maupun domestik, dapat mengurangi kualitas air dan mempengaruhi kesehatan tanaman serta manusia. Pencemaran ini dapat berupa bahan kimia berbahaya, logam berat, atau patogen yang terbawa aliran air, yang mengancam keberlanjutan sumber daya air itu sendiri.

b. Air Tanah

Air tanah adalah salah satu sumber daya penting dalam pertanian, terutama di daerah yang tidak memiliki akses mudah ke air permukaan. Penggunaan air tanah dalam pertanian sering kali mengandalkan sumur bor atau pompa air untuk menyediakan pasokan air yang cukup bagi tanaman. Ini sangat umum dalam pertanian hortikultura, yang memerlukan pasokan air yang konsisten dan terkadang lebih banyak dibandingkan dengan jenis pertanian lainnya. Air tanah dapat menjadi sumber utama irigasi ketika sumber air permukaan tidak tersedia atau tidak cukup, dan dapat mendukung keberlanjutan produksi pertanian.

Meskipun air tanah menawarkan kemudahan akses, eksploitasi yang berlebihan dapat menimbulkan dampak negatif yang signifikan. Salah satu masalah utama adalah penurunan muka air tanah (*groundwater depletion*), di mana permintaan akan air tanah lebih besar dari kemampuan alam untuk mengisi ulang sumber daya tersebut. Hal ini menyebabkan penurunan kualitas dan kuantitas pasokan air tanah, serta berpotensi mempengaruhi ketersediaan air di masa depan. Selain itu, di daerah pesisir, penggunaan air tanah yang berlebihan dapat menyebabkan intrusi air laut, yang mencemari air tanah dengan salinitas tinggi, sehingga tidak lagi layak digunakan untuk pertanian.

c. Air Hujan

Air hujan merupakan salah satu sumber daya air yang paling alami dan melimpah, terutama di daerah yang memiliki curah hujan musiman. Pemanfaatan air hujan melalui teknik panen air hujan (*rainwater harvesting*) telah menjadi solusi yang semakin populer untuk mengatasi ketergantungan terhadap sumber daya air lainnya, seperti air permukaan atau air tanah. Dengan sistem

ini, air hujan yang jatuh dapat ditangkap dan disimpan dalam wadah seperti embung, kolam retensi, atau sumur resapan. Penyimpanan ini memungkinkan air hujan digunakan kembali pada saat musim kemarau, di mana pasokan air sering kali terbatas.

Teknologi panen air hujan sangat bermanfaat di daerah yang memiliki pola hujan musiman, di mana curah hujan tinggi pada musim tertentu dan sangat rendah pada musim lainnya. Sistem ini dapat meningkatkan ketahanan air di daerah pedesaan dan pertanian, yang bergantung pada air untuk irigasi. Air hujan yang disimpan dapat digunakan untuk kebutuhan irigasi tanaman, membersihkan peralatan pertanian, atau bahkan untuk konsumsi rumah tangga apabila diolah dengan baik. Dengan demikian, pemanfaatan air hujan dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya air lainnya yang lebih terbatas dan mahal.

d. Air Limbah Terkelola

Air limbah terkelola atau air limbah yang telah melalui proses pengolahan dapat menjadi sumber alternatif air yang sangat berharga, terutama di daerah dengan keterbatasan sumber daya air. Proses pengolahan air limbah yang melibatkan penyaringan, desinfeksi, dan pemurnian memungkinkan air limbah yang sebelumnya tidak dapat digunakan menjadi aman dan layak untuk digunakan dalam sektor pertanian. Di daerah yang sering mengalami kekeringan atau di kawasan dengan populasi yang padat, pemanfaatan air limbah terkelola memberikan solusi bagi krisis air yang semakin mendesak.

Penggunaan air limbah terkelola dalam pertanian membutuhkan perhatian khusus terhadap kualitas air tersebut. Proses pengolahan yang tepat dapat menghilangkan kontaminan berbahaya seperti logam berat, patogen, dan bahan kimia yang dapat merusak tanaman dan mencemari tanah. Oleh karena itu, air limbah yang digunakan untuk irigasi harus memenuhi standar kualitas tertentu agar tidak menyebabkan kerusakan pada tanaman atau membahayakan kesehatan manusia melalui rantai makanan. Dengan teknologi yang tepat, air limbah dapat dimanfaatkan untuk menyiram tanaman, terutama tanaman non-

konsumsi, atau bahkan tanaman konsumsi dengan pengawasan yang ketat terhadap residu.

2. Kebutuhan Air dalam Pertanian

Kebutuhan air dalam pertanian sangat bervariasi tergantung jenis tanaman, iklim, jenis tanah, dan sistem irigasi yang digunakan. Tanaman padi, misalnya, membutuhkan air yang lebih banyak dibandingkan tanaman kering seperti jagung atau kedelai (Lovarelli *et al.*, 2016).

Faktor yang memengaruhi kebutuhan air tanaman meliputi:

- a. *Evapotranspirasi*: gabungan antara penguapan dari tanah dan transpirasi dari tanaman.
- b. Kondisi *agroklimat*: suhu, kelembaban, dan curah hujan.
- c. Tahap pertumbuhan tanaman: tahap vegetatif biasanya membutuhkan lebih banyak air.
- d. Jenis sistem tanam: sistem monokultur atau tumpangsari memiliki kebutuhan air yang berbeda.

3. Sistem Irigasi dalam Pertanian

a. Irigasi Permukaan

Irigasi permukaan adalah salah satu sistem irigasi tertua dan paling banyak digunakan di Indonesia, terutama dalam pertanian padi. Dalam sistem ini, air dialirkan melalui saluran terbuka menuju lahan pertanian dan didistribusikan secara merata ke tanaman. Metode ini dikenal dengan biaya investasi yang relatif rendah dan kemudahan dalam pemasangannya, sehingga banyak petani yang mengandalkannya. Sistem irigasi permukaan sering digunakan di lahan sawah karena karakteristik tanah yang mampu menyerap air dengan baik, serta ketersediaan air permukaan yang melimpah di banyak daerah pertanian.

Irigasi permukaan memiliki beberapa kelemahan yang dapat mengurangi efisiensi penggunaannya. Salah satu kelemahan utama adalah rendahnya efisiensi air yang digunakan. Menurut data Kementerian Pertanian (2021), efisiensi irigasi permukaan hanya berkisar antara 40-50%, yang berarti sekitar setengah dari air yang dialirkan hilang akibat penguapan dan perkolasi (penyaringan air ke lapisan tanah yang lebih dalam). Hal ini menyebabkan pemborosan air, yang menjadi masalah utama di daerah-daerah dengan sumber daya air terbatas. Selain itu,

kehilangan air yang besar ini juga berkontribusi terhadap masalah salinisasi tanah, terutama di daerah pesisir.

b. Irigasi Tetes (*Drip Irrigation*)

Irigasi tetes (*drip irrigation*) adalah sistem irigasi modern yang mengalirkan air langsung ke zona akar tanaman melalui pipa dan *emitter* (*penetes*). Berbeda dengan metode irigasi tradisional yang mengandalkan distribusi air secara luas ke seluruh area tanaman, irigasi tetes mengontrol aliran air dengan presisi, sehingga air hanya diberikan pada titik yang benar-benar dibutuhkan oleh tanaman. Hal ini membuat irigasi tetes sangat efisien dalam penggunaan air, dengan tingkat efisiensi mencapai lebih dari 90%, yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan irigasi permukaan yang hanya memiliki efisiensi sekitar 40-50%.

Keunggulan utama dari irigasi tetes adalah kemampuannya untuk mengurangi pemborosan air. Sistem ini memungkinkan air mengalir perlahan dan tepat ke zona akar tanaman, menghindari penguapan dan limpasan yang biasa terjadi pada metode irigasi permukaan. Selain itu, karena air disalurkan secara langsung ke akar, tanaman mendapatkan pasokan air yang lebih optimal, yang berujung pada peningkatan hasil pertanian, terutama untuk tanaman hortikultura yang sensitif terhadap kelembaban tanah seperti tomat, cabai, dan melon.

Irigasi tetes sangat cocok untuk daerah yang memiliki sumber daya air terbatas atau di daerah dengan curah hujan rendah. Teknologi ini tidak hanya efisien dalam penggunaan air, tetapi juga meminimalkan potensi pencemaran tanah akibat penyiraman yang tidak terkendali, sehingga sangat mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Selain itu, sistem ini juga mengurangi kebutuhan akan tenaga kerja, karena pengaturan irigasi dapat dilakukan secara otomatis dengan menggunakan timer dan sensor kelembaban.

c. Irigasi Curah (*Sprinkler Irrigation*)

Irigasi curah (*sprinkler irrigation*) adalah sistem irigasi yang menggunakan alat penyemprot (*sprinkler*) untuk menyemprotkan air ke tanaman dalam bentuk tetesan atau semburan yang menyerupai hujan buatan. Metode ini sangat cocok untuk tanaman sayuran dan buah-buahan yang memerlukan distribusi air yang merata di seluruh area tanamannya. Keuntungan utama

dari sistem irigasi curah adalah kemampuannya untuk mencakup area yang luas dengan efisiensi yang cukup baik, mencapai 70–80%, yang lebih tinggi dibandingkan dengan irigasi permukaan.

Sistem *sprinkler* memiliki fleksibilitas dalam penggunaannya karena dapat diterapkan pada berbagai jenis topografi. Baik di lahan datar maupun miring, sistem ini mampu memberikan distribusi air yang merata, asalkan pemasangan *sprinkler* dilakukan dengan benar. Sistem ini juga cocok untuk area yang tidak memiliki pasokan air dalam jumlah besar, karena *sprinkler* dapat menyemprotkan air dengan intensitas yang diatur sedemikian rupa untuk menghindari pemborosan. Selain itu, irigasi curah juga dapat mengurangi penguapan air, terutama jika digunakan pada pagi atau sore hari.

Salah satu keuntungan irigasi curah adalah kemampuannya untuk mengatasi lahan yang sulit diakses dengan sistem irigasi permukaan, seperti lahan berbukit atau lahan dengan saluran irigasi yang terbatas. Oleh karena itu, irigasi curah menjadi pilihan yang baik untuk pertanian di daerah dengan kontur tanah yang beragam. Selain itu, sistem ini juga dapat digunakan untuk menyiram tanaman yang lebih sensitif terhadap kelembaban tanah, seperti tanaman buah dan sayuran.

d. Irigasi *Subsurface*

Irigasi *subsurface* adalah sistem irigasi yang menyalurkan air langsung ke bawah permukaan tanah, dekat dengan zona akar tanaman. Berbeda dengan metode irigasi permukaan atau irigasi tetes, irigasi *subsurface* tidak mengalirkan air melalui permukaan tanah, tetapi di bawahnya, menggunakan pipa yang tertanam di dalam tanah. Sistem ini memungkinkan air disalurkan secara langsung ke akar tanaman, yang meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi penguapan, serta minimnya hilangnya air akibat perkolasi ke lapisan tanah yang lebih dalam.

Salah satu keuntungan utama dari irigasi *subsurface* adalah efisiensi penggunaan air yang tinggi. Sistem ini dapat menghemat lebih banyak air dibandingkan dengan sistem irigasi lainnya, karena air disalurkan tepat di tempat yang dibutuhkan, yaitu di sekitar akar tanaman. Ini juga mengurangi risiko genangan air di permukaan yang bisa menyebabkan erosi atau masalah salinitas pada tanah. Selain itu, karena air tidak berada

di permukaan, irigasi *subsurface* juga mengurangi pertumbuhan gulma, yang biasanya berkembang dengan keberadaan air di permukaan tanah.

Meskipun efisien, penerapan irigasi *subsurface* masih terbatas pada jenis tanaman tertentu dan kondisi tanah yang sesuai. Teknologi ini memerlukan investasi awal yang cukup tinggi untuk instalasi pipa dan sistem distribusinya. Biaya pemeliharaan juga bisa lebih tinggi dibandingkan dengan sistem irigasi permukaan atau tetes. Selain itu, sistem ini membutuhkan perawatan yang lebih teliti untuk memastikan pipa tidak tersumbat dan distribusi air tetap lancar. Hal ini menjadikan irigasi *subsurface* lebih cocok diterapkan di lahan pertanian besar atau komersial yang memiliki modal dan sumber daya untuk mendukung teknologi ini.

4. Efisiensi dan Konservasi Air Pertanian

Menghadapi kelangkaan air, penting untuk menerapkan teknik efisiensi dan konservasi air dalam pertanian, antara lain:

- a. Penjadwalan Irigasi: Menentukan waktu dan jumlah irigasi berdasarkan kebutuhan nyata tanaman.
- b. Mulching: Penutup tanah dengan jerami atau plastik hitam untuk mengurangi evaporasi.
- c. Penerapan Varietas Hemat Air: Menggunakan varietas tanaman yang toleran terhadap kekeringan.
- d. Pengolahan Tanah Minimum: Mengurangi gangguan pada tanah agar kelembaban terjaga lebih lama.
- e. Pengelolaan air berbasis komunitas: Mendorong peran kelompok tani dalam pengaturan distribusi air secara adil dan efisien.

D. Keanekaragaman Hayati dan Peranannya dalam Pertanian

Keanekaragaman hayati (biodiversitas) merupakan aset penting dalam sistem pertanian yang berkelanjutan. Istilah ini mencakup seluruh variasi kehidupan di bumi mulai dari gen, spesies, hingga ekosistem yang menopang produktivitas, ketahanan, dan ketangguhan sistem pertanian. Pertanian tidak hanya bergantung pada keanekaragaman hayati, tetapi juga merupakan salah satu kontributor utama terhadap konservasi maupun degradasi biodiversitas.

Pada konteks pertanian, keanekaragaman hayati mencakup varietas tanaman, hewan ternak, mikroorganisme tanah, serangga penyerbuk, dan organisme pengendali hayati. Semua komponen ini memiliki fungsi ekologis yang penting dan saling terkait. Kehilangan keanekaragaman hayati akibat monokultur, pestisida berlebihan, dan konversi lahan pertanian berdampak langsung terhadap penurunan produktivitas pertanian jangka panjang. Menurut *Convention on Biological Diversity* (CBD), keanekaragaman hayati pertanian adalah semua komponen keragaman hayati yang relevan bagi produksi pertanian dan sistem pendukungnya.

1. Ketahanan dan Produktivitas Pertanian

Ketahanan dan produktivitas pertanian sangat dipengaruhi oleh keberagaman varietas tanaman yang dimiliki oleh petani. Keanekaragaman ini memungkinkan petani untuk memilih varietas yang paling sesuai dengan kondisi iklim dan lingkungan setempat. Setiap daerah memiliki karakteristik tanah, iklim, dan cuaca yang berbeda, sehingga penting bagi petani untuk mengadaptasi jenis tanaman yang dapat tumbuh dengan baik di lingkungan tersebut. Dalam konteks ini, varietas tanaman lokal memiliki keunggulan tersendiri, seperti ketahanan terhadap hama, penyakit, dan perubahan iklim, yang dapat meningkatkan stabilitas hasil pertanian (Khoury *et al.*, 2016).

Varietas lokal sering kali berkembang dan teradaptasi dengan baik di wilayah asalnya, yang membuatnya memiliki kemampuan untuk bertahan dalam kondisi ekstrem, seperti kekeringan atau tanah marginal. Sebagai contoh, varietas padi lokal seperti *Inpago* dan padi hitam di Indonesia diketahui memiliki toleransi yang lebih baik terhadap kekeringan dan kondisi tanah yang kurang subur dibandingkan varietas hibrida. Varietas ini juga memiliki ketahanan alami terhadap berbagai hama dan penyakit yang biasa menyerang tanaman padi, sehingga mengurangi ketergantungan pada penggunaan pestisida dan meningkatkan keberlanjutan produksi pertanian.

Varietas hibrida, meskipun dapat memberikan hasil panen yang lebih tinggi dalam kondisi ideal, sering kali memiliki kelemahan dalam hal ketahanan terhadap perubahan iklim yang ekstrem dan serangan organisme pengganggu tanaman. Oleh karena itu, meskipun varietas hibrida banyak dipilih karena potensi hasil yang besar, ketergantungan pada varietas lokal yang lebih tahan terhadap stres lingkungan dapat

membantu mengurangi risiko kerugian akibat cuaca yang tidak menentu dan serangan hama.

2. Penyerbukan dan Reproduksi Tanaman

Penyerbukan merupakan proses penting dalam reproduksi tanaman berbunga, yang mempengaruhi keberhasilan produksi pangan dunia. Serangga penyerbuk, seperti lebah, kupu-kupu, dan berbagai jenis serangga lainnya, berperan kunci dalam proses ini dengan memindahkan serbuk sari dari bunga jantan ke bunga betina, sehingga memungkinkan terjadinya pembuahan. Lebih dari 75% tanaman pangan dunia, termasuk buah-buahan, sayuran, dan biji-bijian, bergantung pada penyerbukan oleh hewan untuk menghasilkan biji dan buah. Tanpa adanya penyerbuk, banyak tanaman pangan yang tidak dapat berkembang secara optimal, yang berdampak pada produksi pangan global (Potts *et al.*, 2016).

Lebah adalah salah satu penyerbuk utama yang memiliki peran sangat besar dalam pertanian. Tidak hanya mempengaruhi tanaman pangan, tetapi juga tanaman lainnya yang berguna untuk keperluan industri, seperti tanaman obat dan tanaman hias. Keberadaan lebah dan serangga penyerbuk lainnya sangat vital, karena dapat meningkatkan hasil pertanian secara signifikan. Tanaman yang diserbuki oleh serangga cenderung memiliki buah yang lebih besar dan lebih berkualitas, yang akhirnya meningkatkan produktivitas pertanian dan ketahanan pangan.

Penurunan populasi penyerbuk, yang semakin menjadi perhatian global, dapat menurunkan hasil pertanian secara drastis. Salah satu penyebab utama penurunan jumlah penyerbuk adalah penggunaan pestisida yang berlebihan, yang tidak hanya membunuh hama, tetapi juga membunuh serangga penyerbuk yang bermanfaat. Selain itu, kehilangan habitat akibat konversi lahan menjadi area perkotaan atau pertanian monokultur juga mengurangi sumber daya yang dibutuhkan oleh penyerbuk, seperti bunga dan nektar.

Kehilangan populasi penyerbuk mengancam ketahanan pangan global, karena banyak tanaman yang sangat bergantung pada penyerbukan untuk menghasilkan buah dan biji. Tanpa penyerbuk yang cukup, produksi tanaman ini dapat berkurang hingga 30% atau lebih, yang mengarah pada kelangkaan dan kenaikan harga pangan. Beberapa tanaman, seperti apel, jeruk, dan tomat, sangat bergantung pada penyerbukan serangga untuk berkembang dengan baik.

3. Pengendalian Hama dan Penyakit Secara Alami

Pengendalian hama dan penyakit secara alami telah menjadi pendekatan yang semakin populer dalam pertanian berkelanjutan, karena mengurangi ketergantungan pada pestisida sintetis yang dapat merusak ekosistem dan kesehatan manusia. Salah satu metode utama dalam pengendalian alami adalah penggunaan organisme predator dan parasitoid untuk mengendalikan populasi hama. Organisme-organisme ini berperan sebagai musuh alami bagi berbagai hama pertanian, meminimalkan kebutuhan akan bahan kimia yang berbahaya. Pendekatan ini tidak hanya efektif, tetapi juga lebih ramah lingkungan dan membantu menjaga keseimbangan ekosistem.

Salah satu contoh aplikasi pengendalian alami adalah penggunaan tawon *parasitoid Trichogramma*, yang dikenal sebagai predator efektif terhadap telur ulat grayak (*Spodoptera frugiperda*), salah satu hama utama pada tanaman jagung. Tawon ini bertelur pada telur ulat grayak, dan larva tawon tersebut memakan telur ulat tersebut dari dalam. Proses ini mengurangi jumlah ulat grayak yang muncul dan berkembang menjadi larva yang dapat merusak tanaman. Penggunaan *Trichogramma* telah terbukti efektif dalam mengendalikan hama ini, mengurangi kerusakan tanaman jagung, dan meningkatkan hasil panen tanpa mengandalkan penggunaan pestisida kimia.

Ada banyak contoh lain dari organisme alami yang digunakan untuk pengendalian hama, seperti predator alami seperti laba-laba, kumbang, dan semut yang memangsa hama pertanian. Keunggulan dari pengendalian alami ini adalah bahwa predator dan *parasitoid* ini tidak hanya menyerang hama target, tetapi juga tidak membahayakan organisme lain yang berguna bagi pertanian, seperti penyerbuk atau hewan pemakan daun yang tidak merusak tanaman. Dengan demikian, penggunaan organisme alami menciptakan sistem pengendalian yang lebih seimbang dan ramah lingkungan.

Penerapan pengendalian hama alami memerlukan pemahaman yang mendalam tentang ekologi spesifik setiap wilayah pertanian dan interaksi antara organisme. Tidak semua spesies predator atau *parasitoid* cocok untuk setiap jenis tanaman atau hama, sehingga pemilihan dan pengenalan spesies yang tepat sangat penting. Pengendalian hama alami yang sukses memerlukan pemantauan yang terus-menerus dan penyesuaian strategi sesuai dengan dinamika populasi hama dan predator di lapangan.

4. Peningkatan Kesuburan dan Struktur Tanah

Peningkatan kesuburan dan struktur tanah adalah kunci untuk mencapai produktivitas pertanian yang berkelanjutan. Salah satu faktor yang berperan penting dalam proses ini adalah mikroorganisme tanah. Mikroorganisme seperti *mikoriza*, bakteri pelarut fosfat, dan *Rhizobium* memiliki kemampuan luar biasa untuk memperbaiki kualitas tanah secara alami. *Mikoriza*, misalnya, adalah jamur yang membentuk simbiosis dengan akar tanaman, meningkatkan penyerapan air dan unsur hara, serta memperbaiki struktur tanah dengan membentuk jaringan hifa yang mengikat partikel tanah dan meningkatkan porositas tanah. Dengan demikian, tanaman menjadi lebih tahan terhadap kekeringan dan memiliki akses yang lebih baik ke unsur hara penting seperti fosfor (Lal, 2020).

Bakteri pelarut fosfat juga berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah. Fosfor adalah unsur hara penting yang diperlukan oleh tanaman untuk pertumbuhan akar, pembungaan, dan produksi biji. Namun, fosfor dalam tanah sering kali berada dalam bentuk yang tidak tersedia untuk tanaman. Bakteri pelarut fosfat, seperti *Bacillus* dan *Pseudomonas*, mampu mengubah fosfor yang terikat menjadi bentuk yang lebih tersedia bagi tanaman. Dengan meningkatkan ketersediaan fosfor, mikroorganisme ini mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih sehat dan produktif, serta mengurangi ketergantungan pada pupuk fosfat kimia yang dapat mencemari lingkungan.

Rhizobium merupakan bakteri pengikat nitrogen yang membentuk simbiosis dengan tanaman *legum*. Bakteri ini mengubah nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman, meningkatkan kandungan nitrogen di dalam tanah tanpa memerlukan pupuk kimia. Proses ini sangat penting dalam sistem pertanian berkelanjutan karena mengurangi ketergantungan pada pupuk nitrogen yang mahal dan dapat mencemari air. Tanaman *legum* yang ditanam dengan *Rhizobium* juga dapat memperbaiki kesuburan tanah secara keseluruhan, bahkan setelah tanaman tersebut dipanen, dengan meningkatkan kandungan nitrogen dalam tanah untuk tanaman selanjutnya.

Penggunaan mikroorganisme tanah dalam pertanian tidak hanya bermanfaat untuk kesuburan tanah, tetapi juga untuk memperbaiki struktur tanah itu sendiri. Mikroorganisme ini berperan dalam proses dekomposisi bahan organik, menghasilkan senyawa humus yang

meningkatkan daya ikat tanah terhadap air dan meningkatkan kapasitas tukar kation (CTC). Dengan struktur tanah yang lebih baik, tanah menjadi lebih gembur dan lebih mudah untuk dikelola. Selain itu, peningkatan struktur tanah juga membantu meningkatkan *drainase*, yang dapat mencegah erosi dan genangan air, dua masalah yang sering dihadapi dalam pertanian.

5. Sumber *Plasma Nutfah*

Sumber *plasma nutfah* atau sumber daya genetik merupakan komponen vital dalam pengembangan pertanian yang berkelanjutan dan peningkatan produktivitas tanaman dan hewan. Keanekaragaman genetik yang ada pada berbagai spesies tanaman dan hewan menyediakan bahan baku yang sangat penting untuk perbaikan varietas di masa depan. *Plasma nutfah* ini mencakup berbagai jenis tanaman pangan, hortikultura, tanaman obat, serta berbagai spesies hewan yang memiliki potensi untuk dioptimalkan guna memenuhi kebutuhan pangan, kesehatan, dan ekonomi masyarakat. Keanekaragaman genetik ini memiliki kemampuan untuk menanggulangi tantangan-tantangan pertanian yang muncul seiring berjalannya waktu, seperti perubahan iklim, penyakit baru, serta kekurangan air dan tanah yang subur.

Keanekaragaman genetik dalam *plasma nutfah* juga sangat berperan dalam pengembangan varietas unggul yang lebih tahan terhadap penyakit, hama, dan kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Sebagai contoh, beberapa varietas padi yang dikembangkan di Indonesia berasal dari pemuliaan tanaman yang mengandalkan sumber *plasma nutfah* lokal. Varietas padi lokal yang tahan terhadap kekeringan atau tanah masam, seperti padi *Inpago*, menjadi bukti betapa pentingnya pengelolaan dan konservasi *plasma nutfah* untuk mengatasi tantangan pertanian yang disebabkan oleh perubahan iklim. Selain itu, keberadaan *plasma nutfah* dapat membantu mempercepat proses perbaikan genetik tanaman dan hewan, serta memperkenalkan ketahanan terhadap patogen baru yang mungkin muncul.

Sumber *plasma nutfah* juga sangat berperan dalam pemuliaan tanaman dan hewan yang lebih adaptif terhadap kondisi tanah marjinal. Tanah marjinal yang memiliki sifat fisik dan kimia yang kurang mendukung bagi pertumbuhan tanaman dapat disiasati dengan pemilihan varietas yang lebih tahan terhadap kondisi tersebut. Misalnya, tanaman

kedelai yang dikembangkan dari *plasma nutfah* lokal memiliki daya adaptasi yang lebih baik terhadap kondisi tanah kering dan masam. Selain itu, upaya untuk memperkenalkan varietas yang toleran terhadap tanah *alkali* atau salin juga sangat bergantung pada eksplorasi dan konservasi *plasma nutfah* ini.

Untuk mencapai tujuan pemanfaatan sumber *plasma nutfah* yang optimal, konservasi *plasma nutfah* menjadi hal yang sangat krusial. Konservasi ini dapat dilakukan baik secara *in situ*, yakni menjaga keberadaan spesies asli di habitatnya, maupun secara *ex situ*, dengan menyimpan koleksi *plasma nutfah* dalam bentuk benih, koleksi kloning, atau kultur jaringan. Melalui upaya konservasi yang terencana, kita dapat menjaga keberagaman genetik yang ada dan mencegah hilangnya spesies yang berpotensi penting di masa depan. Banyak lembaga riset dan perguruan tinggi yang berperan dalam program konservasi dan pemanfaatan plasma nutfah, baik untuk tanaman maupun hewan.

E. Teknologi Ramah Lingkungan dalam Pertanian

Pertanian ramah lingkungan merupakan pendekatan pertanian yang bertujuan untuk meningkatkan produksi sekaligus menjaga keseimbangan ekosistem. Dalam konteks ini, teknologi ramah lingkungan adalah inovasi yang dirancang untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, meningkatkan efisiensi sumber daya, serta mendukung pertanian berkelanjutan. Teknologi ramah lingkungan meliputi berbagai praktik dan alat yang berkontribusi terhadap konservasi tanah, air, keanekaragaman hayati, dan pengurangan emisi gas rumah kaca.

Penerapan teknologi ramah lingkungan menjadi semakin penting mengingat tantangan besar yang dihadapi sektor pertanian global, termasuk degradasi lahan, perubahan iklim, dan peningkatan kebutuhan pangan. Inovasi teknologi dalam pertanian harus menyeimbangkan antara kebutuhan produktivitas dengan keberlanjutan lingkungan.

1. Pertanian Organik

Pertanian organik merupakan pendekatan dalam bertani yang menghindari penggunaan *input* sintetis, seperti pupuk kimia dan pestisida, serta organisme hasil rekayasa genetik. Sebagai gantinya, sistem ini mengandalkan bahan alami, seperti pupuk kandang, kompos,

dan pestisida hayati, untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan mengendalikan hama. Selain itu, rotasi tanaman menjadi salah satu metode penting dalam pertanian organik yang dapat membantu menjaga keseimbangan ekosistem tanah. Dengan menggunakan pendekatan alami ini, pertanian organik berfokus pada peningkatan kesehatan tanah dan keberlanjutan pertanian jangka panjang.

Salah satu manfaat utama dari pertanian organik adalah peningkatan kandungan bahan organik di dalam tanah. Pupuk organik seperti kompos, pupuk kandang, dan bahan organik lainnya membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, serta memperkaya kehidupan mikroba tanah. Tanah yang kaya akan bahan organik akan lebih mudah menahan air, mencegah erosi, dan menyediakan nutrisi yang lebih stabil bagi tanaman. Selain itu, keberagaman mikroorganisme yang tumbuh subur di dalam tanah organik juga dapat membantu dalam proses dekomposisi bahan organik, yang pada gilirannya menghasilkan nutrisi yang lebih tersedia bagi tanaman.

Pertanian organik dapat meningkatkan keseimbangan nutrisi di dalam tanah. Dalam sistem pertanian konvensional, penggunaan pupuk kimia seringkali menyebabkan ketidakseimbangan dalam kandungan unsur hara tanah, yang dapat merusak kualitas tanah dalam jangka panjang. Sebaliknya, dengan menggunakan pupuk alami yang lebih ramah lingkungan, pertanian organik dapat menjaga keseimbangan unsur hara di dalam tanah, sehingga tanaman memperoleh nutrisi yang lebih seimbang dan sehat. Hal ini berdampak langsung pada kualitas hasil panen yang lebih baik dan lebih bergizi.

Manfaat lainnya adalah bahwa pertanian organik dapat menurunkan ketergantungan petani terhadap bahan kimia sintetis. Dalam banyak kasus, penggunaan pestisida kimia dapat menyebabkan resistensi hama, menurunnya populasi organisme pengurai, serta pencemaran tanah dan air. Dalam pertanian organik, petani didorong untuk menggunakan alternatif alami, seperti pestisida hayati atau predator alami, untuk mengendalikan hama. Dengan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia, pertanian organik turut mendukung keberlanjutan ekosistem dan keberagaman hayati di lingkungan sekitar.

2. *Integrated Pest Management (IPM)*

Integrated Pest Management (IPM) adalah pendekatan yang mengintegrasikan berbagai metode untuk mengendalikan hama dengan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan organisme non-target. Berbeda dengan pendekatan konvensional yang sering bergantung pada pestisida kimia, IPM mengedepankan prinsip ekologi dengan menggabungkan teknik-teknik biologis, mekanis, dan kimiawi secara selektif. Tujuan utama dari IPM adalah untuk mengendalikan populasi hama pada tingkat yang tidak merugikan hasil panen, sambil menjaga keseimbangan ekosistem pertanian.

Salah satu komponen utama dari IPM adalah penggunaan musuh alami hama, seperti *parasitoid*, predator, dan mikroorganisme patogenik. Penggunaan predator alami, seperti burung pemangsa serangga atau serangga pemangsa, dapat secara alami mengurangi populasi hama. Begitu juga dengan *parasitoid*, yang berkembang biak di dalam tubuh inang hama dan menyebabkan kematiannya. Mikroorganisme patogenik, seperti jamur atau bakteri, juga dapat digunakan untuk menginfeksi dan membunuh hama tertentu. Dengan mengandalkan musuh alami ini, petani dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang berpotensi merusak lingkungan dan organisme lainnya.

Salah satu keuntungan besar dari IPM adalah kemampuannya untuk mengurangi penggunaan pestisida sintetis. Studi oleh Parsa *et al.* (2014) menunjukkan bahwa penerapan IPM dapat mengurangi penggunaan pestisida hingga 50%, tanpa menurunkan hasil panen yang signifikan. Ini sangat penting dalam upaya mengurangi kontaminasi kimia di tanah dan air serta melindungi keberagaman hayati di sekitar lahan pertanian. Selain itu, penggunaan pestisida yang lebih sedikit berarti biaya produksi yang lebih rendah bagi petani.

IPM juga memprioritaskan pengendalian hama dengan cara yang lebih ramah lingkungan. Dalam sistem pertanian konvensional, penggunaan pestisida kimia dapat menyebabkan pencemaran tanah, air, dan udara serta menurunkan kualitas hidup mikroorganisme tanah yang penting untuk kesuburan. Dengan mengurangi penggunaan pestisida, IPM membantu menjaga kesehatan tanah dan keberagaman hayati yang ada di dalamnya. Selain itu, dengan melindungi organisme penyerbuk seperti lebah, IPM juga berperan dalam mendukung keberlanjutan ekosistem pertanian secara keseluruhan.

3. Konservasi Tanah dan Air

Konservasi tanah dan air merupakan aspek krusial dalam pertanian berkelanjutan, bertujuan untuk mempertahankan kesuburan tanah dan mengurangi dampak negatif dari erosi serta kekurangan air. Salah satu teknik yang banyak diterapkan adalah sistem tanam tanpa olah tanah (*no-till farming*), yang memungkinkan petani menanam langsung pada tanah tanpa harus membajak atau mengolah tanah terlebih dahulu. Metode ini tidak hanya mengurangi erosi tanah, tetapi juga membantu meningkatkan penyerapan air oleh tanah karena struktur tanah tetap utuh dan jaringan akar tetap terjaga, sehingga meminimalkan penguapan dan limpasan air (Lal, 2020). Selain itu, penggunaan sistem *no-till* juga mengurangi ketergantungan pada alat berat yang dapat merusak struktur tanah.

Pembuatan terasering juga merupakan teknik konservasi tanah yang efektif, terutama di daerah dengan kemiringan lahan yang tinggi. Terasering dapat mengurangi kecepatan aliran air hujan yang dapat menyebabkan erosi. Dengan memecah lahan menjadi beberapa tingkat atau teras, air hujan yang jatuh pada permukaan tanah tidak akan mengalir langsung ke bawah, melainkan diserap dan ditampung oleh teras-teras tersebut. Hal ini mencegah terjadinya pengikisan tanah dan memungkinkan tanah menyerap air dengan lebih baik, sehingga meningkatkan kesuburan tanah di lahan miring.

Penanaman penutup tanah (*cover crops*) juga berperan penting dalam konservasi tanah. Tanaman penutup seperti legum dan tanaman lainnya yang tidak dipanen berfungsi untuk menutupi permukaan tanah, mencegah erosi, dan meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah. Tanaman ini juga membantu mengendalikan gulma, memperbaiki struktur tanah, dan mengembalikan unsur hara yang hilang selama musim tanam utama. Selain itu, tanaman penutup yang memiliki akar dalam juga membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air, terutama pada musim hujan. Di sisi lain, konservasi air juga menjadi prioritas dalam pertanian modern. Penggunaan teknologi irigasi hemat air, seperti irigasi tetes dan *sprinkler* bertekanan rendah, telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air. Dengan sistem irigasi tetes, air disalurkan langsung ke zona akar tanaman secara perlahan, mengurangi penguapan dan limpasan yang biasa terjadi pada sistem irigasi permukaan.

4. Sistem Pertanian Presisi (*Precision Agriculture*)

Sistem pertanian presisi adalah pendekatan yang memanfaatkan teknologi digital dan data spasial untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam pengelolaan pertanian. Dengan memanfaatkan sensor tanah, *drone*, citra satelit, dan sistem informasi geografis (GIS), pertanian presisi memungkinkan petani untuk melakukan pemantauan dan analisis secara lebih akurat dan mendalam. Teknologi ini memberikan informasi secara *real-time* mengenai kondisi tanah, kelembaban, suhu, serta kebutuhan nutrisi tanaman di setiap titik dalam lahan pertanian. Dengan demikian, petani dapat menentukan tindakan yang paling tepat untuk setiap bagian dari lahan, menghindari pemborosan sumber daya dan memaksimalkan hasil pertanian.

Salah satu manfaat utama dari pertanian presisi adalah pengurangan penggunaan *input* seperti pupuk dan pestisida. Teknologi sensor tanah dapat memberikan informasi yang sangat terperinci mengenai kadar unsur hara di tanah, sehingga petani dapat memberikan pupuk hanya di tempat yang dibutuhkan, sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman. Hal ini mengurangi penggunaan pupuk berlebihan, yang dapat mencemari lingkungan dan mengurangi efisiensi biaya. Selain itu, pertanian presisi juga dapat membantu menghemat penggunaan air. Dengan memanfaatkan data dari sensor kelembaban tanah dan teknologi irigasi cerdas, petani dapat melakukan irigasi tepat waktu dan tepat jumlah, menghindari pemborosan air yang sering terjadi pada sistem irigasi tradisional.

Penggunaan *drone* dan citra satelit juga memberikan keuntungan dalam pemantauan dan pemetaan lahan. Dengan citra satelit, petani dapat melihat perubahan vegetasi dan kondisi tanaman di seluruh lahan pertanian, bahkan yang sulit dijangkau. Hal ini memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah seperti serangan hama atau penyakit lebih dini, sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan dengan cepat dan efektif. Pemantauan yang lebih baik ini tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mencegah kerugian akibat kerusakan tanaman yang tidak terdeteksi.

5. *Biopestisida* dan *Biofertilizer*

Biopestisida dan *biofertilizer* merupakan solusi alternatif yang semakin populer dalam pertanian berkelanjutan karena keduanya menggunakan bahan alami yang ramah lingkungan. *Biopestisida* berasal

dari berbagai sumber alami seperti mikroba (bakteri, jamur), ekstrak tumbuhan, atau *feromon* untuk mengendalikan hama dan penyakit pada tanaman. Salah satu keuntungan utama *biopestisida* adalah kemampuannya untuk membunuh hama atau patogen tanpa mencemari lingkungan atau membahayakan organisme non-target, seperti serangga penyerbuk atau predator alami hama. Penggunaan *biopestisida* dapat mengurangi dampak negatif dari penggunaan pestisida kimia yang sering menyebabkan resistensi hama, kontaminasi tanah dan air, serta gangguan pada kesehatan manusia (Kumar *et al.*, 2018).

Sebagai contoh, penggunaan mikroorganisme seperti *Bacillus thuringiensis* dalam *biopestisida* telah terbukti efektif dalam mengendalikan hama ulat pada tanaman sayuran tanpa menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi manusia atau hewan lain. Biopestisida ini bekerja dengan memproduksi racun yang hanya berbahaya bagi spesies hama tertentu, sehingga menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Di samping itu, penggunaan *biopestisida* mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis, yang sering kali beracun dan dapat merusak tanah serta organisme tanah yang bermanfaat.

Biofertilizer juga berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan keberlanjutan pertanian. *Biofertilizer* mengandung mikroorganisme hidup yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Beberapa jenis *biofertilizer*, seperti *Rhizobium*, *Azospirillum*, dan *mikoriza*, berperan penting dalam proses fiksasi nitrogen dan penyerapan fosfat oleh tanaman. *Rhizobium*, misalnya, bekerja dengan membentuk simbiosis dengan akar tanaman polongan, mengubah nitrogen bebas di udara menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman. Hal ini mengurangi kebutuhan akan pupuk nitrogen sintetis yang dapat mencemari lingkungan.

Penggunaan *biofertilizer* tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kualitas tanah. Mikroorganisme dalam *biofertilizer* membantu meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang mendukung dekomposisi bahan organik, memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan kapasitas retensi air. Ini sangat penting, terutama di daerah dengan tanah marginal atau terdegradasi. Dengan meminimalkan penggunaan pupuk kimia, *biofertilizer* membantu mengurangi dampak negatif terhadap tanah,

seperti peningkatan salinitas atau kerusakan struktur tanah yang sering terjadi akibat penggunaan pupuk kimia yang berlebihan.

6. Integrasi Tanaman dan Ternak

Sistem integrasi tanaman-ternak merupakan pendekatan pertanian yang saling menguntungkan, di mana tanaman dan ternak dipadukan dalam satu sistem pertanian untuk saling mendukung. Dalam sistem ini, limbah yang dihasilkan oleh ternak, seperti kotoran sapi atau kuda, digunakan sebagai pupuk organik untuk tanaman. Sebaliknya, hasil sampingan dari tanaman, seperti dedak atau limbah tanaman, menjadi pakan ternak. Sistem ini memungkinkan daur ulang nutrisi secara lebih efisien, mengurangi ketergantungan pada *input* eksternal, dan meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan (Herrero *et al.*, 2015).

Keuntungan utama dari sistem ini adalah pengurangan penggunaan pupuk kimia sintetis. Limbah ternak yang digunakan sebagai pupuk organik mengandung unsur hara penting, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang dapat meningkatkan kesuburan tanah. Selain itu, penggunaan pupuk organik memperbaiki struktur tanah, meningkatkan daya serap air, dan memperkaya keanekaragaman mikroba tanah, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan hasil pertanian. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan kimia, tetapi juga meningkatkan kualitas tanah dan kesehatan ekosistem pertanian.

Sistem integrasi ini juga bermanfaat bagi sektor peternakan. Hasil sampingan tanaman yang tidak terpakai, seperti jerami atau limbah sayuran, dapat digunakan sebagai pakan ternak, sehingga mengurangi biaya pakan. Di sisi lain, ternak yang dipelihara dalam sistem ini juga membantu menjaga keseimbangan ekosistem dengan mengendalikan gulma dan menyediakan sumber daya organik untuk meningkatkan kualitas tanah. Dengan menggabungkan tanaman dan ternak dalam satu sistem, petani dapat memperoleh hasil yang lebih beragam dan meningkatkan ketahanan pangan serta pendapatan.

Sistem ini juga berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca, terutama metana, yang sering dihasilkan dari limbah ternak. Dalam sistem integrasi tanaman-ternak yang efisien, limbah ternak dikelola dengan baik dan dimanfaatkan sebagai pupuk, sehingga emisi metana dapat dikendalikan dan tidak terbuang ke atmosfer.



BAB III

SUMBER DAYA PERIKANAN

Sumber daya perikanan mencakup segala aspek yang berkaitan dengan ikan dan organisme akuatik lainnya yang digunakan untuk konsumsi manusia, perdagangan, atau tujuan lainnya. Sumber daya ini sangat penting dalam mendukung ketahanan pangan global, mengingat kontribusinya yang signifikan terhadap asupan protein hewani. Di dunia, sektor perikanan menyediakan lapangan kerja bagi jutaan orang, baik melalui kegiatan perikanan tangkap maupun budidaya. Namun, pengelolaan sumber daya perikanan ini memerlukan perhatian khusus agar dapat terus berkelanjutan, mengingat potensi eksploitasi yang berlebihan dan ancaman terhadap ekosistem perairan.

Perikanan dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu perikanan tangkap dan perikanan budidaya. Perikanan tangkap melibatkan kegiatan penangkapan ikan liar dari laut, sungai, dan danau, sementara perikanan budidaya mencakup produksi ikan dan organisme akuatik lainnya di lingkungan terkendali, seperti kolam atau keramba. Kedua jenis perikanan ini memiliki tantangan dan peluang yang berbeda, baik dari segi pengelolaan sumber daya maupun dampaknya terhadap ekosistem perairan dan komunitas yang bergantung pada sektor ini.

Pengelolaan sumber daya perikanan yang berkelanjutan adalah kunci untuk menjaga keseimbangan antara pemanfaatan dan pelestarian ekosistem perairan. Dalam beberapa dekade terakhir, berbagai inovasi dan kebijakan telah diperkenalkan untuk meningkatkan keberlanjutan sektor ini, seperti penerapan prinsip-prinsip perikanan berkelanjutan dan teknologi baru dalam budidaya perikanan. Namun, tantangan yang dihadapi sektor perikanan terus berkembang, seiring dengan perubahan iklim, degradasi habitat, dan tekanan permintaan pasar yang terus meningkat.

A. Jenis dan Klasifikasi Sumber Daya Perikanan

Sumber daya perikanan merupakan komponen penting dalam sektor pangan global dan memiliki peran sentral dalam ketahanan pangan, ekonomi, dan keberlanjutan ekosistem laut dan perairan. Sumber daya ini mencakup berbagai jenis organisme yang dapat dimanfaatkan baik dalam bentuk ikan, *moluska*, *krustasea*, serta organisme perairan lainnya. Klasifikasi dan pemahaman tentang sumber daya perikanan sangat penting untuk pengelolaan yang berkelanjutan, yang mendukung konservasi dan pemanfaatan optimal.

Pada pengelolaan sumber daya perikanan, jenis dan klasifikasi ini biasanya dibagi berdasarkan habitat, kategori spesies, serta jenis kegiatan pemanfaatannya. Upaya pemahaman yang mendalam mengenai jenis-jenis sumber daya perikanan akan membantu dalam penentuan kebijakan pengelolaan dan strategi konservasi yang tepat, baik di tingkat lokal, nasional, maupun global. Berdasarkan perspektif keberlanjutan, penting untuk mempertimbangkan berbagai aspek dalam pengelolaan sumber daya ini.

1. Jenis-Jenis Sumber Daya Perikanan

Sumber daya perikanan dapat dikelompokkan berdasarkan habitat, spesies, dan jenis pemanfaatannya. Berikut adalah beberapa kategori yang umum digunakan dalam mengklasifikasikan sumber daya perikanan:

a. Berdasarkan Habitat

Sumber daya perikanan dapat diklasifikasikan berdasarkan tempat atau habitatnya. Berdasarkan hal ini, ada dua kategori utama: sumber daya perikanan laut dan perikanan perairan tawar.

1) Perikanan Laut

Perikanan laut merujuk pada semua sumber daya perikanan yang ditemukan di perairan laut dan samudra. Sumber daya ini mencakup berbagai spesies ikan dan organisme laut lainnya yang hidup di berbagai lapisan perairan, dari permukaan hingga dasar laut. Ikan pelagis, seperti sarden dan tuna, hidup di lapisan permukaan laut dan sering ditemukan dalam kelompok besar. Sementara itu, ikan demersal, seperti ikan kerapu, hidup di dasar laut dan lebih sering ditemukan di kedalaman tertentu. Keanekaragaman spesies ini

menjadikan perikanan laut sangat penting bagi ketahanan pangan global dan ekonomi masyarakat pesisir.

Perikanan laut juga mencakup berbagai *krustasea* dan *moluska*. *Krustasea*, seperti udang dan kepiting, merupakan komoditas yang banyak dibudidayakan dan diperdagangkan di pasar internasional. *Moluska*, seperti kerang dan cumi-cumi, juga memiliki nilai ekonomi yang tinggi, terutama di negara-negara yang memiliki industri perikanan laut yang berkembang. Keberagaman spesies ini memberikan peluang bagi pemanfaatan yang lebih berkelanjutan, tetapi juga memerlukan pengelolaan yang hati-hati untuk mencegah eksploitasi berlebihan.

Perikanan laut juga menghadapi tantangan serius, seperti *Overfishing* (penangkapan ikan berlebihan) dan kerusakan ekosistem laut akibat perubahan iklim serta polusi. Oleh karena itu, pengelolaan yang baik dan berkelanjutan sangat diperlukan untuk menjaga kelangsungan sumber daya perikanan laut ini.

2) Perikanan Perairan Tawar

Perikanan perairan tawar mencakup segala sumber daya ikan yang hidup di sungai, danau, waduk, dan rawa. Berbeda dengan perikanan laut, perikanan air tawar menawarkan berbagai potensi sumber daya yang dapat dimanfaatkan baik secara alami maupun melalui budidaya. Beberapa contoh spesies yang umum dijumpai dalam perikanan perairan tawar antara lain ikan lele, nila, gurami, dan patin, yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan permintaan yang terus berkembang. Ikan-ikan ini sering dibudidayakan karena kemudahan dalam pengelolaannya serta kemampuannya untuk tumbuh dengan baik dalam kondisi perairan tawar yang terkontrol.

Budidaya ikan air tawar, terutama melalui sistem akuakultur, semakin populer di banyak negara berkembang, yang mengandalkan perikanan ini untuk mendukung ketahanan pangan dan perekonomian lokal. Akuakultur perairan tawar memungkinkan produksi ikan dengan skala besar dan dapat dilakukan di berbagai lokasi seperti kolam, tambak, atau waduk. Selain itu, budidaya ikan air tawar juga memberikan peluang kerja bagi masyarakat sekitar, sekaligus

menyediakan sumber protein yang sangat dibutuhkan oleh penduduk.

Perikanan perairan tawar juga menghadapi sejumlah tantangan, termasuk kualitas air yang dapat terpengaruh oleh polusi dan sedimentasi, serta penyakit yang dapat menyebar cepat dalam budidaya ikan yang padat. Oleh karena itu, penerapan praktik budidaya yang berkelanjutan sangat penting untuk menjaga keberlanjutan produksi dan kesehatan ekosistem perairan tawar.

b. Berdasarkan Jenis Organisme

Sumber daya perikanan juga diklasifikasikan berdasarkan jenis organisme yang ada di dalamnya. Beberapa kategori utama adalah:

1) Ikan

Ikan merupakan kelompok organisme *vertebrata* yang hidup di perairan dan memiliki insang sebagai alat untuk bernapas. Sebagai sumber daya perikanan, ikan memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan sering dijadikan komoditas utama dalam industri perikanan komersial. Beberapa jenis ikan yang banyak dibudidayakan dan ditangkap untuk konsumsi manusia antara lain ikan tuna, sarden, *mackerel*, dan ikan kakap. Ikan-ikan ini tidak hanya penting untuk ketahanan pangan global, tetapi juga untuk sektor ekonomi, seperti industri pengolahan ikan dan ekspor.

Ikan dapat dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan habitat, yaitu ikan pelagis dan ikan demersal. Ikan pelagis adalah ikan yang hidup di lapisan permukaan laut atau perairan terbuka, seperti ikan sarden dan tuna. Ikan pelagis biasanya bergerak dalam kelompok besar dan lebih mudah dipancing di perairan terbuka menggunakan teknik penangkapan seperti jaring atau pancing. Sebaliknya, ikan demersal hidup di dasar laut atau perairan, seperti ikan kakap dan *mackerel*. Ikan ini cenderung lebih suka bersembunyi di dasar perairan atau di antara bebatuan dan terumbu karang, sehingga memerlukan metode penangkapan khusus.

Pemanfaatan sumber daya ikan ini memerlukan pengelolaan yang berkelanjutan untuk mencegah penurunan populasi dan kerusakan ekosistem perairan. *Overfishing* atau penangkapan

ikan secara berlebihan dapat menyebabkan ketidakseimbangan ekologis dan menurunkan keberlanjutan sumber daya ikan.

2) *Moluska*

Moluska adalah kelompok *invertebrata* yang memiliki cangkang luar atau tubuh lunak, tergantung pada spesiesnya. Kelompok ini mencakup berbagai spesies penting dalam industri perikanan, seperti kerang, tiram, remis, cumi-cumi, dan gurita. *Moluska* memiliki nilai ekonomi yang sangat besar, baik untuk konsumsi manusia maupun untuk bahan baku produk lain. Kerang dan tiram, misalnya, sering dibudidayakan dan diekspor sebagai makanan laut yang populer di pasar internasional.

Perikanan *moluska* berperan penting dalam perdagangan internasional, terutama untuk jenis-jenis seperti tiram dan remis, yang sangat dicari di negara-negara pengimpor makanan laut. Cumi-cumi dan gurita juga banyak diburu untuk pasaran makanan laut, di mana keduanya digunakan dalam berbagai masakan khas. Di beberapa negara, budidaya moluska menjadi sumber pendapatan penting bagi masyarakat pesisir. Teknik budidaya yang digunakan bervariasi, mulai dari kerang yang dibudidayakan di tambak atau di alam terbuka hingga cumi-cumi yang diperoleh melalui penangkapan di laut.

Moluska juga memiliki peran ekologis yang penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem perairan. Membantu dalam proses filtrasi air dan dapat mengurangi tingkat polusi di ekosistem perairan. Namun, perikanan moluska juga menghadapi tantangan, seperti *Overfishing*, perubahan iklim, dan polusi laut yang dapat mempengaruhi populasi moluska.

3) *Krustasea*

Krustasea adalah kelompok *invertebrata* yang memiliki *exoskeleton* keras dan anggota tubuh yang tersegmentasi. Kelompok ini mencakup berbagai spesies penting dalam industri perikanan, seperti udang, kepiting, lobster, dan krill. *Krustasea* sering dibudidayakan dalam sistem akuakultur karena permintaan pasar yang tinggi, baik untuk konsumsi domestik maupun ekspor. Udang, misalnya, merupakan salah

satu komoditas perikanan yang sangat bernilai di pasar global, sementara lobster dan kepiting sering dianggap sebagai makanan mewah yang diburu di perairan laut.

Pada akuakultur, *krustasea* biasanya dibudidayakan menggunakan teknik yang memfasilitasi pertumbuhan yang cepat dan efisiensi produksi. Udang, yang menjadi salah satu spesies paling banyak dibudidayakan, umumnya dibesarkan dalam kolam tambak yang dirancang khusus untuk mendukung kondisi tumbuhnya. Kepiting dan lobster juga dibudidayakan di beberapa negara, dan budidaya sering kali melibatkan perhatian khusus terhadap kualitas air dan pakan untuk memastikan hasil yang optimal. Selain itu, *krill*, yang merupakan makanan utama bagi banyak hewan laut, juga dieksploitasi untuk pembuatan pakan ternak dan suplemen kesehatan.

Krustasea memiliki nilai komersial yang sangat tinggi, baik di pasar domestik maupun internasional. Sering diekspor ke negara-negara maju, terutama untuk keperluan konsumsi makanan laut yang bergengsi. Namun, seperti halnya perikanan lainnya, budidaya *krustasea* menghadapi tantangan seperti *Overfishing*, degradasi habitat, dan ancaman perubahan iklim yang dapat memengaruhi kelimpahan spesies ini.

c. Berdasarkan Fungsi Ekologis

Selain habitat dan jenis organisme, sumber daya perikanan juga dapat dikategorikan berdasarkan peran ekologis spesies dalam ekosistem perairan. Kategori ini termasuk:

1) Spesies Penghasil Biomassa

Spesies penghasil biomassa merupakan kelompok organisme perikanan yang memiliki peran vital dalam menghasilkan bahan baku untuk konsumsi manusia maupun untuk kepentingan industri. Ikan-ikan seperti tuna, sarden, dan mackerel adalah contoh spesies yang dipanen untuk memenuhi kebutuhan pangan manusia. Selain itu, beberapa ikan juga dimanfaatkan untuk bahan baku produk olahan, seperti minyak ikan yang digunakan dalam pembuatan suplemen kesehatan atau pakan ternak. Ikan-ikan ini tidak hanya penting bagi ketahanan pangan global tetapi juga

memiliki kontribusi besar terhadap ekonomi sektor perikanan.

Proses produksi biomassa dalam dunia perikanan tidak hanya terbatas pada konsumsi langsung, tetapi juga melibatkan pemanfaatan bagian-bagian ikan yang biasanya terbuang, seperti kepala dan tulang untuk industri pengolahan ikan. Biomassa dari spesies seperti ikan pelagis juga menjadi sumber protein bagi industri pakan ternak dan akuakultur. Dengan cara ini, biomassa yang dihasilkan oleh spesies perikanan dapat mendukung sektor pertanian dan akuakultur, menciptakan hubungan yang saling menguntungkan dalam ekosistem produksi pangan.

Pemanfaatan spesies penghasil biomassa harus dilakukan dengan memperhatikan keberlanjutan sumber daya alam tersebut. *Overfishing* dan kerusakan habitat perairan dapat mengurangi kelimpahan spesies penghasil biomassa, yang pada gilirannya akan berdampak pada pasokan pangan dan bahan baku industri.

2) Spesies Pengatur Ekosistem

Spesies pengatur ekosistem memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem perairan. *Moluska*, seperti tiram dan kerang, adalah contoh spesies yang memiliki fungsi ekologis ini. Bekerja sebagai *filter feeders*, yang menyaring partikel-partikel mikroorganisme dan materi organik dari air. Dengan cara ini, tidak hanya membantu membersihkan air tetapi juga mencegah penumpukan bahan organik yang dapat merusak kualitas air dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Kehadiran moluska dalam suatu ekosistem juga dapat mengurangi terjadinya eutrofikasi, yakni peningkatan kadar nutrisi yang menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan.

Krustasea seperti udang dan kepiting juga berperan sebagai pengatur keseimbangan ekosistem. Udang misalnya, memakan organisme-organisme kecil yang dapat menjadi hama bagi tanaman air atau merusak struktur dasar perairan. Kepiting, di sisi lain, sering kali memakan bahan-bahan organik yang membusuk di dasar perairan, yang juga berperan dalam mengurangi potensi polusi. Kedua jenis

krustasea ini membantu menjaga kestabilan populasi organisme perairan lainnya, menjaga kebersihan habitat, dan memastikan kelangsungan hidup spesies lain dalam ekosistem tersebut.

Peran spesies pengatur ekosistem ini sangat penting dalam mempertahankan kesehatan dan fungsi ekosistem perairan secara keseluruhan. Ketika spesies-spesies ini terganggu akibat penangkapan yang berlebihan atau kerusakan habitat, keseimbangan ekosistem dapat terganggu, yang pada gilirannya berdampak negatif pada kualitas air dan kelangsungan hidup spesies lainnya.

2. Klasifikasi Sumber Daya Perikanan

Klasifikasi sumber daya perikanan diperlukan untuk menyusun strategi pengelolaan yang lebih efisien. Berdasarkan analisis lebih lanjut, beberapa klasifikasi penting meliputi:

a. Berdasarkan Usia dan Status Populasi

Klasifikasi berdasarkan usia dan status populasi ini mempengaruhi strategi pemanfaatan dan pengelolaan:

1) Sumber Daya Perikanan yang Terbarukan

Sumber daya perikanan yang terbarukan merujuk pada spesies yang memiliki kemampuan untuk berkembang biak secara alami dan dapat diperbaharui jika dikelola dengan bijaksana. Ikan-ikan seperti tuna dan sarden adalah contoh sumber daya perikanan yang terbarukan. Meskipun populasi ikan ini dapat mengalami fluktuasi, memiliki kemampuan untuk berkembang biak dalam jumlah besar setiap tahun, yang memungkinkan populasi untuk pulih, asalkan tekanan penangkapan tidak melebihi kapasitas pemulihan.

Proses reproduksi alami menjadi kunci utama dalam menjaga keberlanjutan sumber daya perikanan ini. Ikan tuna, misalnya, dapat bertelur dalam jumlah besar di perairan terbuka. Sarden juga memiliki pola reproduksi yang serupa, di mana bertelur dalam jumlah banyak untuk memastikan kelangsungan hidup generasi berikutnya. Dengan pengelolaan yang baik, seperti pengaturan kuota tangkapan dan pembatasan musim penangkapan, spesies-spesies ini dapat dipertahankan dalam jumlah yang memadai untuk

memenuhi kebutuhan manusia tanpa mengancam kelestariannya. Namun, meskipun sumber daya perikanan ini bersifat terbarukan, sangat rentan terhadap penangkapan yang berlebihan dan kerusakan habitat. Jika pemanfaatannya tidak dilakukan secara berkelanjutan, populasi ikan ini dapat menurun secara drastis.

2) Sumber Daya Perikanan yang Tidak Terbarukan

Sumber daya perikanan yang tidak terbarukan merujuk pada spesies yang memiliki kemampuan pembiakan yang terbatas atau memerlukan waktu yang sangat lama untuk mencapai kematangan seksual, sehingga sangat rentan terhadap *over-exploitation*. Beberapa jenis moluska, seperti kerang raksasa atau paus, serta beberapa spesies ikan yang terdistribusi di wilayah tertentu atau di ujung rentang distribusi, dapat terancam punah jika dieksploitasi berlebihan. Spesies-spesies ini tidak dapat pulih dengan cepat setelah populasi menurun drastis, membuat pengelolaannya sangat penting untuk mencegah kerugian yang tidak dapat diperbaiki.

Sebagai contoh, ikan-ikan seperti hiu, yang hidup dalam waktu lama dan berkembang biak dalam jumlah kecil, termasuk dalam kategori sumber daya yang tidak terbarukan, memiliki waktu pemulihan yang sangat lama jika populasinya terancam akibat penangkapan ikan yang berlebihan. Kerang dan *moluska* lainnya juga memiliki tingkat reproduksi yang lambat, yang membuatnya sangat rentan terhadap penangkapan yang tidak terkendali. Tanpa adanya upaya pengelolaan yang tepat, spesies ini bisa mengalami penurunan populasi yang drastis dan bahkan berisiko punah.

Konservasi menjadi kunci utama dalam pengelolaan sumber daya perikanan yang tidak terbarukan. Berbagai langkah konservasi, seperti penetapan kawasan perlindungan, pembatasan tangkapan, dan larangan penangkapan pada musim reproduksi, sangat penting untuk menjaga kelestarian spesies-spesies ini.

b. Berdasarkan Metode Pemanfaatan

Metode pemanfaatan perikanan juga berkontribusi pada klasifikasi ini. Berdasarkan cara memanfaatkan sumber daya perikanan, kita dapat mengelompokkan sebagai berikut:

1) Perikanan Tangkap

Perikanan tangkap adalah kegiatan pemanfaatan sumber daya perikanan dengan menangkap ikan dan organisme laut lainnya langsung dari alam, baik di laut, sungai, danau, maupun perairan tawar. Metode ini telah dilakukan sejak ribuan tahun lalu, dengan menggunakan alat tangkap yang terus berkembang seiring waktu. Alat tangkap yang digunakan bervariasi, mulai dari jaring, perangkap, pancing, hingga alat tangkap modern seperti *trawl* dan *longline*. Kegiatan ini sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan keberadaan spesies yang ada di suatu wilayah.

Pada perikanan tangkap, penangkapan ikan dilakukan dengan cara mengambil organisme laut secara langsung dari habitat alami. Penangkapan dilakukan dengan mempertimbangkan jenis ikan yang ditargetkan dan musim tangkapannya. Perikanan tangkap terbagi menjadi beberapa jenis, seperti perikanan laut, perikanan air tawar, dan perikanan pesisir, yang masing-masing memanfaatkan sumber daya alam di berbagai habitat. Aktivitas ini menjadi salah satu mata pencaharian utama bagi banyak negara pesisir, yang mengandalkan hasil laut untuk konsumsi domestik maupun ekspor. Namun, perikanan tangkap juga menghadapi tantangan besar terkait dengan keberlanjutan dan konservasi sumber daya perikanan. Penangkapan ikan yang berlebihan (*Overfishing*) dapat mengancam kelestarian spesies, yang mengarah pada penurunan populasi ikan secara drastis.

2) Perikanan Budidaya (Akuakultur)

Perikanan budidaya atau akuakultur merujuk pada kegiatan pembudidayaan organisme akuatik seperti ikan, kerang, moluska, dan krustasea dalam lingkungan yang dikendalikan oleh manusia. Praktik ini memungkinkan petani untuk mengelola siklus hidup organisme akuatik dari pembibitan hingga panen. Akuakultur dapat dilakukan baik di perairan tawar seperti kolam dan waduk, maupun di perairan laut

menggunakan sistem tambak atau keramba apung. Kegiatan ini telah menjadi penting untuk mencukupi kebutuhan konsumsi ikan yang terus meningkat di seluruh dunia.

Di negara berkembang, perikanan budidaya ikan air tawar, seperti lele, nila, dan patin, sangat populer karena biaya produksi yang relatif rendah dan potensi pasar yang besar. Akuakultur air tawar ini biasanya dilakukan di kolam atau sistem *recirculating aquaculture systems* (RAS), yang memungkinkan pengolahan air secara efisien. Sementara itu, di negara-negara dengan pesisir panjang, seperti Indonesia, Thailand, dan Cina, budidaya ikan laut seperti kerapu, tuna, dan udang juga berkembang pesat. Budidaya ikan laut dilakukan dengan sistem keramba atau tambak yang diletakkan di perairan laut. Namun, akuakultur juga menghadapi tantangan terkait dengan dampak lingkungan dan keberlanjutannya. Pengelolaan yang buruk dapat menyebabkan polusi air, penyebaran penyakit, dan penurunan kualitas air.

c. Berdasarkan Nilai Ekonomi

Sumber daya perikanan juga bisa diklasifikasikan berdasarkan nilai ekonomi yang dimilikinya. Beberapa spesies memiliki nilai komersial yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya:

1) Sumber Daya Perikanan dengan Nilai Tinggi

Sumber daya perikanan dengan nilai ekonomi tinggi mencakup spesies yang memiliki permintaan pasar global yang signifikan dan sering kali diperdagangkan secara internasional. Ikan tuna, khususnya tuna biru, adalah salah satu contoh utama dari spesies perikanan dengan nilai tinggi. Tuna banyak dicari di pasar global, terutama untuk konsumsi sushi dan sashimi di Jepang, sehingga menjadikannya komoditas yang sangat bernilai. Tuna juga digunakan dalam industri makanan kaleng di berbagai negara, yang turut meningkatkan permintaan akan ikan ini. Dengan demikian, perikanan tuna memiliki dampak ekonomi yang besar bagi negara-negara pesisir, terutama yang memiliki industri perikanan tuna yang berkembang.

Lobster juga merupakan sumber daya perikanan dengan nilai komersial yang tinggi. Lobster terutama diekspor ke pasar-

pasar utama seperti Amerika Serikat dan Eropa. Harga lobster yang tinggi disebabkan oleh permintaan yang besar di restoran-restoran mewah dan acara-acara khusus. Sebagai salah satu makanan laut paling mewah, lobster sering kali dibudidayakan dalam sistem akuakultur untuk memenuhi permintaan pasar yang terus berkembang. Hal ini juga membuat perikanan lobster menjadi penting dalam meningkatkan pendapatan negara-negara penghasil, seperti Kanada dan Amerika Serikat.

Kerapu juga termasuk dalam kategori sumber daya perikanan dengan nilai tinggi. Ikan kerapu banyak dicari untuk konsumsi makanan laut di berbagai negara, terutama di pasar Asia dan Timur Tengah. Di Indonesia, budidaya kerapu menjadi salah satu sektor akuakultur yang berkembang pesat, berfokus pada ekspor untuk memenuhi kebutuhan pasar internasional.

2) Sumber Daya Perikanan dengan Nilai Rendah

Sumber daya perikanan dengan nilai ekonomi rendah mencakup berbagai spesies ikan kecil, krustasea, dan moluska yang sering kali tidak memiliki permintaan pasar yang tinggi, tetapi tetap berperan penting dalam ekosistem perairan dan ketahanan pangan lokal. Ikan-ikan kecil seperti ikan teri, ikan asin, atau ikan lele yang lebih kecil sering dijadikan bahan baku untuk produk olahan atau sebagai pakan ternak. Meskipun harga jualnya lebih rendah dibandingkan dengan ikan besar seperti tuna atau kerapu, ikan kecil ini tetap memiliki kontribusi signifikan terhadap ketahanan pangan, terutama di daerah pesisir dan pedesaan.

Krustasea seperti udang kecil, remis, atau kepiting mini juga termasuk dalam kategori sumber daya perikanan dengan nilai rendah. Meskipun memiliki harga yang lebih rendah di pasar, krustasea ini tetap berperan dalam berbagai industri, terutama dalam pembuatan bahan baku makanan olahan, juga menjadi bahan penting dalam diet lokal di daerah pesisir, sehingga tetap memiliki nilai ekonomi meski tidak sebesar komoditas perikanan lainnya. Di banyak negara berkembang, pengelolaan krustasea ini memberikan peluang ekonomi bagi

masyarakat pesisir dengan skala usaha yang lebih kecil dan berkelanjutan.

Moluska kecil seperti kerang, remis, dan cumi-cumi juga sering kali memiliki nilai ekonomi yang lebih rendah, tetapi memiliki peran ekologi yang penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem perairan. Berfungsi sebagai filter air alami yang dapat meningkatkan kualitas perairan dengan menyaring partikel-partikel kecil.

B. Pengelolaan Perairan untuk Budidaya dan Tangkap

Pengelolaan perairan untuk budidaya dan penangkapan ikan merupakan aspek fundamental dalam memastikan keberlanjutan sektor perikanan. Perairan, baik itu perairan tawar maupun laut, menyediakan habitat yang sangat penting untuk kehidupan ikan dan organisme perairan lainnya. Dengan meningkatnya permintaan akan produk perikanan dan ancaman terhadap ekosistem perairan akibat eksploitasi berlebihan, pengelolaan yang efisien dan berkelanjutan menjadi semakin penting. Tujuan dari pengelolaan perairan adalah untuk memaksimalkan potensi sumber daya perikanan tanpa merusak lingkungan atau mengancam keberlangsungan spesies perikanan. Hal ini mencakup pengelolaan perairan untuk budidaya akuakultur (perikanan budidaya) maupun untuk kegiatan penangkapan ikan (perikanan tangkap). Keduanya memerlukan pendekatan yang komprehensif, menggabungkan aspek ekologis, teknis, sosial, dan ekonomi.

1. Pengelolaan Perairan untuk Budidaya Perikanan

Akuakultur atau budidaya perikanan telah menjadi sektor yang semakin penting untuk memenuhi permintaan pangan dunia yang terus berkembang. Untuk memastikan keberhasilan dan keberlanjutan akuakultur, pengelolaan perairan yang tepat sangat diperlukan. Beberapa komponen penting dalam pengelolaan perairan untuk budidaya ikan adalah:

a. Pemilihan Lokasi Budidaya

Pemilihan lokasi budidaya perikanan yang tepat merupakan langkah penting dalam keberhasilan akuakultur. Lokasi yang ideal harus memenuhi beberapa kriteria teknis, seperti kualitas air yang baik, kedalaman perairan yang cukup, serta kondisi

salinitas yang sesuai untuk budidaya perikanan laut atau tawar. Di perairan laut, lokasi budidaya seperti tambak atau keramba jaring apung perlu mempertimbangkan arus air dan kedalaman untuk memastikan sirkulasi air yang baik dan mendukung pertumbuhan ikan secara optimal. Sedangkan di perairan tawar, budidaya ikan sering dilakukan di kolam atau waduk yang memiliki akses yang baik terhadap suplai air bersih dan stabilitas suhu yang tepat (Einarsson & Óladóttir, 2020).

Aspek lingkungan juga harus menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan lokasi. Kualitas air di lokasi yang dipilih harus memadai, dengan parameter fisika dan kimia yang sesuai untuk kehidupan organisme perikanan. Arus air yang terlalu kuat atau terlalu lemah dapat memengaruhi sistem perikanan secara negatif. Di sisi lain, evaluasi dampak terhadap ekosistem lokal juga sangat penting. Lokasi yang dipilih tidak boleh merusak habitat alami, seperti terumbu karang atau padang lamun, yang dapat berdampak buruk pada keanekaragaman hayati dan kualitas ekosistem perairan.

Aspek sosial-ekonomi juga harus diperhatikan dalam pemilihan lokasi budidaya perikanan. Misalnya, aksesibilitas lokasi, seperti kedekatannya dengan pasar atau infrastruktur pendukung seperti jalan dan fasilitas transportasi, memengaruhi keberlangsungan operasional budidaya perikanan. Evaluasi kelayakan sosial-ekonomi ini meliputi analisis terhadap potensi penghidupan masyarakat sekitar serta dampak yang mungkin timbul dari kegiatan budidaya terhadap mata pencaharian lokal.

b. Pengelolaan Kualitas Air

Pengelolaan kualitas air adalah aspek krusial dalam budidaya perikanan, karena kualitas air yang buruk dapat berdampak langsung pada kesehatan dan produktivitas organisme yang dibudidayakan. Beberapa parameter penting yang harus dipantau secara rutin antara lain suhu air, oksigen terlarut, pH, salinitas, dan kadar amonia. Suhu air yang tidak sesuai dengan kebutuhan spesies ikan dapat menghambat metabolisme dan pertumbuhannya. Kadar oksigen terlarut yang rendah dapat menyebabkan ikan kesulitan bernapas, sementara pH yang tidak stabil dapat mengganggu proses biologis di dalam

tubuh ikan. Selain itu, akumulasi amonia dari limbah ikan dapat menjadi racun jika tidak dikelola dengan baik (Bartley, 2022).

Untuk menjaga kualitas air yang optimal, berbagai teknik pengelolaan dapat diterapkan. Misalnya, penggunaan sistem aerasi untuk meningkatkan kandungan oksigen terlarut, atau sistem filtrasi untuk menghilangkan partikel-partikel yang dapat mencemari air. Pemurnian air juga penting, terutama untuk mengurangi tingkat amonia atau bahan kimia berbahaya lainnya yang bisa terakumulasi dalam perairan. Tanpa pengelolaan yang tepat, kualitas air yang buruk dapat menyebabkan stres pada ikan, yang pada akhirnya akan mengurangi produktivitas dan meningkatkan kerentanannya terhadap penyakit.

Dengan kemajuan teknologi, pengelolaan kualitas air kini semakin efisien melalui penggunaan sensor berbasis teknologi. Pemantauan kualitas air secara *real-time* menggunakan sensor yang terintegrasi dengan sistem manajemen akuakultur memungkinkan pengawasan yang lebih akurat dan responsif terhadap perubahan parameter air. Teknologi ini tidak hanya membantu menjaga kondisi optimal untuk pertumbuhan ikan, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

c. Pengelolaan Pakan

Pengelolaan pakan dalam budidaya perikanan adalah salah satu faktor penting yang memengaruhi keberhasilan produksi akuakultur. Pakan harus diformulasikan dengan cermat untuk memenuhi kebutuhan gizi spesifik masing-masing spesies ikan yang dibudidayakan. Ketersediaan pakan yang cukup dan berkualitas tidak hanya memengaruhi pertumbuhan dan kesehatan ikan, tetapi juga dapat mengurangi tingkat kematian ikan serta meningkatkan efisiensi konversi pakan. Pemberian pakan yang tepat juga dapat meminimalkan pemborosan, sehingga mengurangi akumulasi sisa pakan di dasar kolam atau tambak yang dapat mencemari kualitas air (Gillett, 2009).

Pengelolaan pakan yang efisien sangat penting untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Sisa pakan yang tidak dimakan dapat terurai menjadi senyawa berbahaya seperti amonia, yang dapat merusak kualitas air dan menyebabkan stres pada ikan. Oleh karena itu, formulasi pakan yang tepat serta pengelolaan pemberian pakan yang terkontrol

dapat membantu mengurangi limbah yang dihasilkan, yang pada gilirannya akan meminimalkan pencemaran dan mengoptimalkan kondisi lingkungan di perairan budidaya. Teknologi pengelolaan pakan yang baik juga dapat mengurangi biaya produksi yang terkait dengan pakan.

Seiring dengan perkembangan teknologi, inovasi dalam pakan berbasis ramah lingkungan semakin banyak diterapkan. Salah satu contoh adalah penggunaan pakan berbasis probiotik yang membantu meningkatkan kesehatan ikan, sekaligus mengurangi dampak pencemaran air akibat sisa pakan.

d. Manajemen Penyakit dan Pemantauan Kesehatan Ikan

Manajemen penyakit dan pemantauan kesehatan ikan adalah aspek krusial dalam budidaya perikanan yang sukses dan berkelanjutan. Penyakit ikan dapat menyebar dengan cepat dan mempengaruhi seluruh populasi dalam waktu singkat, menyebabkan kerugian ekonomi yang besar. Oleh karena itu, penting untuk memiliki sistem manajemen yang terintegrasi yang melibatkan pemantauan kondisi fisik dan perilaku ikan secara rutin. Deteksi dini penyakit menjadi kunci untuk mencegah penyebaran yang lebih luas, yang mencakup pemeriksaan visual terhadap gejala klinis serta penggunaan teknologi diagnostik yang lebih canggih (Ariadno, 2011).

Pencegahan penyakit dapat dilakukan dengan cara-cara preventif yang meliputi pengelolaan kepadatan populasi ikan. Kepadatan yang terlalu tinggi meningkatkan stres pada ikan, yang menjadikannya lebih rentan terhadap penyakit. Oleh karena itu, pengaturan kepadatan yang tepat, yang disesuaikan dengan ukuran kolam atau tambak, sangat penting. Selain itu, pengelolaan kualitas air yang optimal dan pemberian pakan yang sesuai juga dapat meningkatkan daya tahan ikan terhadap infeksi. Menggunakan pakan yang mengandung *probiotik* atau bahan alami untuk meningkatkan kekebalan tubuh ikan juga dapat membantu mencegah terjadinya penyakit.

Penggunaan teknologi diagnostik yang semakin maju memungkinkan deteksi dini patogen dengan lebih cepat dan akurat. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Polymerase Chain Reaction* (PCR), yang dapat mendeteksi DNA patogen dalam sampel ikan. Sensor biosensor juga memberikan

kontribusi signifikan dalam mendeteksi patogen secara *real-time*, sehingga memungkinkan tindakan yang lebih cepat.

2. Pengelolaan Perairan untuk Perikanan Tangkap

Pengelolaan perairan untuk perikanan tangkap berfokus pada pengaturan penangkapan ikan yang bertanggung jawab dan berkelanjutan. Hal ini mencakup pengelolaan kawasan perikanan, pemilihan teknik penangkapan yang ramah lingkungan, serta pengaturan kuota tangkapan dan peraturan mengenai ukuran ikan yang boleh ditangkap. Pengelolaan yang buruk dapat menyebabkan *Overfishing* dan merusak habitat perairan yang tak dapat diperbaiki.

a. Pengelolaan Sumber Daya Perikanan Berbasis Ekosistem

Pengelolaan sumber daya perikanan berbasis ekosistem merupakan pendekatan yang holistik untuk menjaga keberlanjutan perikanan tangkap. Pendekatan ini tidak hanya fokus pada spesies ikan yang menjadi target, tetapi juga memperhatikan semua komponen ekosistem yang mendukung kelangsungan hidup spesies tersebut. Salah satu elemen penting dalam ekosistem perairan adalah habitat seperti terumbu karang, padang lamun, dan mangrove, yang berfungsi sebagai tempat perlindungan, pemijahan, dan penyedia pakan bagi banyak spesies perikanan. Perlindungan dan pelestarian habitat-habitat ini sangat krusial karena keberadaannya langsung berhubungan dengan produktivitas dan kesehatan populasi ikan di perairan tersebut (Bartley, 2022).

Pendekatan berbasis ekosistem yang melibatkan pemantauan secara menyeluruh terhadap kualitas dan kondisi ekosistem perairan. Pemantauan ini mencakup berbagai faktor seperti kualitas air, keberagaman hayati, dan kesehatan habitat. Selain itu, pendekatan ini juga mencakup analisis dampak dari kegiatan manusia, seperti perikanan, pariwisata, dan pembangunan pesisir, terhadap ekosistem. Dengan informasi yang tepat dan upaya pemantauan yang terkoordinasi, pengelolaan perikanan dapat lebih responsif terhadap perubahan kondisi ekologis, serta mampu menjaga keseimbangan antara kebutuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan.

Pengelolaan berbasis ekosistem juga memerlukan kolaborasi antar sektor. Koordinasi yang baik antara sektor perikanan,

konservasi alam, dan sektor lainnya, seperti pariwisata atau pembangunan pesisir, sangat penting untuk menciptakan kebijakan yang saling mendukung dan berkelanjutan. Misalnya, pengaturan kawasan perlindungan laut yang melibatkan pemangku kepentingan lokal dapat memperkuat upaya pelestarian habitat yang mendukung keberlanjutan perikanan.

b. Pengaturan Kuota dan Batas Penangkapan

Pengaturan kuota dan batas penangkapan merupakan bagian integral dari pengelolaan perikanan tangkap yang berkelanjutan. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk menjaga agar jumlah ikan yang ditangkap tidak melebihi kapasitas reproduksi spesies tersebut, sehingga memastikan keberlanjutan populasi ikan di perairan. Penentuan kuota penangkapan ini dilakukan berdasarkan prinsip keberlanjutan yang mengutamakan pemanfaatan sumber daya alam secara bijak, tanpa merusak ekosistem dan mengancam kelestarian spesies. Dengan demikian, pengelolaan perikanan yang baik harus mempertimbangkan dinamika ekosistem dan kebutuhan jangka panjang untuk memastikan ketahanan sumber daya perikanan.

Pada praktiknya, pengaturan kuota penangkapan ikan menggunakan data ilmiah yang akurat tentang status populasi ikan. Penelitian ilmiah yang dilakukan oleh ahli perikanan sangat penting untuk mengidentifikasi jumlah stok ikan yang ada, serta mengetahui apakah populasi ikan tersebut cukup stabil untuk menghadapi tingkat penangkapan yang ditentukan. Pemantauan yang dilakukan secara reguler juga penting untuk mengukur dampak dari kegiatan penangkapan terhadap ekosistem perairan dan spesies terkait. Dengan informasi yang diperoleh dari riset dan pemantauan lapangan, pemerintah atau badan pengelola perikanan dapat membuat kebijakan yang lebih tepat dalam menetapkan batas penangkapan.

Salah satu contoh pengaturan kuota yang banyak diterapkan adalah sistem *Total Allowable Catch* (TAC), yang digunakan oleh banyak negara untuk mengelola penangkapan ikan secara berkelanjutan. TAC menetapkan batas maksimal jumlah tangkapan ikan yang diperbolehkan dalam satu tahun, berdasarkan estimasi jumlah stok ikan yang dapat dipanen tanpa mengancam kelestarian spesies tersebut.

c. Pengelolaan Alat Tangkap yang Ramah Lingkungan

Pengelolaan alat tangkap yang ramah lingkungan menjadi salah satu aspek penting dalam pengelolaan perikanan tangkap yang berkelanjutan. Penggunaan alat tangkap yang tidak selektif, seperti jaring trawl dasar, dapat merusak habitat dasar laut yang penting, seperti terumbu karang dan padang lamun. Selain itu, alat tangkap yang tidak ramah lingkungan sering menyebabkan penangkapan ikan yang tidak diinginkan atau bycatch, termasuk spesies ikan muda yang belum siap untuk berkembang biak. Penangkapan ikan muda ini mengancam kelestarian spesies ikan dan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Oleh karena itu, penting untuk mengatur dan memodifikasi alat tangkap agar dapat mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem dan spesies non-target.

Untuk mengurangi dampak buruk dari alat tangkap yang merusak lingkungan, banyak kebijakan pengelolaan perikanan yang mendorong penggunaan alat tangkap yang lebih selektif dan ramah lingkungan. Misalnya, jaring yang dirancang untuk menghindari penangkapan ikan muda dengan ukuran mata jaring yang lebih besar dapat membantu ikan yang belum dewasa untuk lolos. Selain itu, penggunaan alat tangkap berbasis teknologi canggih, seperti alat perekam bawah laut atau sistem pemantauan real-time, dapat membantu para nelayan memilih lokasi penangkapan yang lebih sesuai dan menghindari area yang sedang dalam masa pemulihan atau memiliki populasi ikan yang rendah.

Penerapan alat tangkap ramah lingkungan juga memberikan keuntungan ekonomi jangka panjang. Meskipun penggantian alat tangkap yang merusak lingkungan memerlukan biaya awal yang lebih tinggi, namun dampak jangka panjangnya dapat menghasilkan hasil perikanan yang lebih stabil dan berkelanjutan. Kebijakan ini tidak hanya berfokus pada pelestarian sumber daya alam, tetapi juga mendukung industri perikanan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

d. Pemantauan dan Penegakan Hukum

Pemantauan dan penegakan hukum yang efektif merupakan elemen kunci dalam keberhasilan pengelolaan perikanan tangkap yang berkelanjutan. Salah satu tantangan terbesar dalam sektor

perikanan adalah praktik penangkapan ikan ilegal, tidak dilaporkan, dan tidak diatur (IUU *fishing*) yang dapat merusak stok ikan dan mengganggu ekosistem laut. Untuk itu, teknologi pemantauan berbasis satelit, seperti Sistem Pemantauan Posisi Kapal (VMS), menjadi alat yang sangat efektif untuk mengawasi aktivitas perikanan secara *real-time*. Dengan menggunakan VMS, pihak berwenang dapat memantau pergerakan kapal-kapal perikanan dan mendeteksi kapal yang beroperasi di luar zona yang diizinkan atau melanggar batas kuota tangkapan yang telah ditetapkan.

Penegakan hukum yang tegas juga sangat penting dalam memastikan bahwa peraturan dan kebijakan perikanan diikuti dengan benar. Negara-negara perlu bekerja sama dalam upaya penanggulangan IUU *fishing*, baik melalui penandatanganan perjanjian internasional atau melalui peningkatan kapasitas penegakan hukum di tingkat lokal. Kerjasama ini dapat mencakup pertukaran informasi tentang pelanggaran, peningkatan pengawasan bersama, serta pembentukan tim patroli bersama yang dapat melakukan operasi di perairan internasional. Dengan adanya koordinasi yang erat antara pemerintah dan lembaga internasional, diharapkan dapat menciptakan lingkungan yang mendukung keberlanjutan sumber daya perikanan.

Penegakan hukum yang kuat tidak hanya mengurangi praktik IUU *fishing*, tetapi juga memberikan insentif kepada nelayan yang beroperasi secara sah untuk tetap mematuhi peraturan yang berlaku. Selain itu, dengan penegakan hukum yang konsisten dan adil, nelayan yang beroperasi secara legal dapat merasa lebih aman dan mendapatkan manfaat ekonomi yang lebih stabil.

C. Teknologi dan Inovasi dalam Sektor Perikanan

Sektor perikanan di seluruh dunia menghadapi berbagai tantangan, termasuk kebutuhan untuk meningkatkan produksi guna memenuhi permintaan pangan yang terus meningkat, mengatasi dampak perubahan iklim, serta menjaga kelestarian ekosistem perairan. Untuk menjawab tantangan-tantangan tersebut, teknologi dan inovasi menjadi

kunci penting dalam meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan daya saing sektor perikanan. Teknologi dan inovasi dalam sektor perikanan melibatkan penerapan metode baru dalam budidaya perikanan, penangkapan ikan, pengolahan hasil perikanan, serta pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

1. Teknologi dalam Budidaya Perikanan (Akuakultur)

Akuakultur atau budidaya perikanan telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, seiring dengan upaya untuk meningkatkan produksi perikanan guna memenuhi kebutuhan pangan dunia. Berbagai inovasi teknologi telah diperkenalkan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan akuakultur.

a. Sistem Akuakultur Tertutup (RAS)

Sistem Akuakultur Tertutup atau *Recirculating Aquaculture Systems* (RAS) merupakan inovasi teknologi yang merevolusi praktik budidaya ikan dengan menciptakan lingkungan yang sangat terkontrol. Berbeda dengan sistem tradisional yang bergantung pada pasokan air alami secara terus-menerus, RAS memungkinkan penggunaan ulang air melalui proses filtrasi dan pengolahan. Air yang telah digunakan akan melewati berbagai tahap penyaringan, seperti filtrasi mekanik, biologis, dan kimia, sebelum dikembalikan ke dalam kolam budidaya. Dengan demikian, sistem ini mampu menghemat air secara signifikan dan mengurangi ketergantungan pada sumber air eksternal (Aich *et al.*, 2020).

Keunggulan utama dari RAS adalah kemampuan untuk memantau dan mengendalikan parameter kualitas air secara real-time. Teknologi sensor modern digunakan untuk memeriksa suhu, pH, kadar oksigen terlarut, serta kandungan amonia dan nitrit dalam air. Kondisi lingkungan yang stabil dan optimal sangat penting untuk mendukung pertumbuhan ikan yang sehat dan produktif. Selain itu, karena air tidak langsung dibuang ke lingkungan sekitar, risiko pencemaran lingkungan oleh limbah budidaya menjadi jauh lebih kecil. Hal ini menjadikan RAS sebagai sistem yang ramah lingkungan dan sesuai dengan prinsip akuakultur berkelanjutan.

RAS sangat ideal diterapkan di daerah yang memiliki keterbatasan sumber daya air, seperti wilayah perkotaan atau

daerah kering. Beberapa studi menunjukkan bahwa sistem ini telah berhasil digunakan dalam budidaya ikan air tawar seperti nila dan lele di negara-negara Asia dan Eropa. Dengan kepadatan ikan yang tinggi dan kontrol penuh terhadap lingkungan, produksi dapat ditingkatkan tanpa harus memperluas lahan atau mengambil risiko tinggi terhadap perubahan cuaca atau pencemaran eksternal.

b. Penggunaan *Probiotik* dan Pakan Berkelanjutan

Penggunaan *probiotik* dan pakan berkelanjutan dalam budidaya perikanan mencerminkan kemajuan teknologi yang mendukung efisiensi dan keberlanjutan produksi akuakultur. *Probiotik*, yaitu mikroorganisme hidup yang menguntungkan, dimasukkan ke dalam pakan ikan untuk meningkatkan keseimbangan mikrobiota usus. *Mikroflora* yang sehat di saluran pencernaan ikan berperan penting dalam meningkatkan penyerapan nutrisi, mempercepat pertumbuhan, serta meningkatkan daya tahan tubuh terhadap penyakit. Penggunaan *probiotik* secara rutin dapat mengurangi kebutuhan akan antibiotik dan obat-obatan kimia lainnya, sehingga menurunkan risiko resistensi obat dan pencemaran lingkungan.

Penerapan *probiotik* dalam akuakultur juga membantu menciptakan sistem budidaya yang lebih sehat dan ramah lingkungan. Selain berperan sebagai peningkat kekebalan tubuh ikan, beberapa jenis *probiotik* memiliki kemampuan untuk menguraikan limbah organik dalam kolam, yang dapat membantu menjaga kualitas air tetap optimal. Hal ini sangat penting, terutama dalam sistem budidaya intensif yang menghasilkan limbah dalam jumlah besar. Dengan pendekatan biologis seperti ini, produktivitas bisa ditingkatkan tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan perairan.

Teknologi dalam pengembangan pakan berkelanjutan juga terus berkembang. Salah satu tantangan terbesar dalam akuakultur adalah ketergantungan pada tepung ikan dan minyak ikan yang berasal dari ikan liar sebagai bahan utama pakan. Untuk mengatasi hal ini, para peneliti mulai mengembangkan pakan berbasis tanaman, seperti kedelai, ganggang laut, atau serangga, yang kaya protein dan lebih ramah lingkungan. Bahan-bahan alternatif ini tidak hanya mengurangi tekanan terhadap

stok ikan laut, tetapi juga mengurangi jejak karbon dan biaya produksi jangka panjang.

c. Teknologi Pemantauan Kualitas Air

Teknologi pemantauan kualitas air dalam akuakultur berperan krusial dalam memastikan lingkungan budidaya yang sehat dan produktif. Kualitas air yang buruk dapat menyebabkan stres pada ikan, menghambat pertumbuhan, bahkan memicu wabah penyakit. Oleh karena itu, pemantauan yang akurat dan konsisten menjadi kebutuhan utama dalam pengelolaan sistem budidaya modern. Kemajuan teknologi memungkinkan penggunaan sensor berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mengawasi parameter penting seperti pH, suhu, oksigen terlarut, salinitas, dan amonia secara *real-time*. Data ini membantu pembudidaya mengambil keputusan cepat untuk mencegah kerusakan lingkungan dan kehilangan produksi.

Teknologi sensor air yang terintegrasi dengan sistem otomatisasi dapat memberikan peringatan dini ketika parameter air berada di luar ambang batas optimal. Misalnya, ketika kadar oksigen terlarut turun secara tiba-tiba, sistem dapat memberi sinyal otomatis untuk mengaktifkan alat *aerator*. Dengan demikian, pembudidaya tidak perlu terus-menerus memeriksa kondisi air secara manual. Sistem pemantauan *real-time* ini membantu meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi kerugian akibat keterlambatan respons terhadap perubahan lingkungan.

Sistem pemantauan berbasis IoT juga mendukung keberlanjutan lingkungan. Dengan informasi yang akurat, penggunaan pakan, energi, dan bahan kimia dapat diatur secara lebih efisien, sehingga limbah perikanan dapat diminimalkan. Teknologi ini juga memungkinkan pencatatan data jangka panjang yang dapat dianalisis untuk merumuskan strategi budidaya yang lebih adaptif dan ramah lingkungan. Hal ini sangat penting untuk meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim dan tekanan ekologis lainnya.

2. Teknologi dalam Perikanan Tangkap

Sektor perikanan tangkap juga mengalami kemajuan yang signifikan berkat penerapan teknologi baru yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan penangkapan ikan.

a. Alat Tangkap Ramah Lingkungan

Penggunaan alat tangkap ramah lingkungan menjadi komponen penting dalam mendukung perikanan tangkap yang berkelanjutan. Alat tangkap konvensional sering kali menyebabkan kerusakan pada ekosistem dasar laut, serta menangkap spesies non-target atau ikan yang belum mencapai ukuran layak konsumsi (*bycatch*). Hal ini tidak hanya merugikan secara ekologis, tetapi juga secara ekonomi dalam jangka panjang karena dapat menyebabkan penurunan populasi ikan. Oleh karena itu, inovasi dalam pengembangan alat tangkap yang selektif dan minim dampak lingkungan menjadi prioritas dalam pengelolaan perikanan modern (Bellido *et al.*, 2011).

Salah satu inovasi yang banyak diterapkan adalah penggunaan jaring dengan ukuran mata jaring yang disesuaikan untuk memungkinkan hanya ikan berukuran tertentu yang tertangkap. Metode ini memungkinkan ikan-ikan muda atau kecil dapat kembali ke laut dan tumbuh hingga ukuran layak tangkap. Selain itu, alat tangkap seperti bubu ikan yang dirancang dengan pintu selektif dan jaring lingkaran selektif juga digunakan untuk meminimalkan *bycatch* dan meningkatkan efisiensi penangkapan. Inovasi semacam ini telah membantu banyak komunitas nelayan mengurangi limbah tangkapan sekaligus menjaga kelestarian stok ikan.

Perkembangan teknologi juga telah mendorong penciptaan alat tangkap berbasis sensor, seperti alat pendeteksi keberadaan ikan menggunakan teknologi sonar dan sensor suhu air. Teknologi ini memungkinkan nelayan mengetahui lokasi ikan secara lebih akurat dan menargetkan penangkapan secara spesifik, sehingga menghindari penangkapan secara acak yang merusak ekosistem. Selain itu, ada pula alat berbasis suara atau sistem identifikasi pola gerak ikan yang semakin canggih dan diterapkan pada skala industri perikanan.

b. Teknologi Pemantauan dan Pengawasan Kapal (VMS)

Teknologi Pemantauan dan Pengawasan Kapal atau *Vessel Monitoring System* (VMS) merupakan salah satu inovasi penting dalam mendukung tata kelola perikanan tangkap yang berkelanjutan. Sistem ini menggunakan perangkat komunikasi berbasis satelit untuk melacak dan merekam posisi, kecepatan, serta arah kapal penangkap ikan secara *real-time*. Dengan adanya VMS, pemerintah dan lembaga pengawas perikanan dapat memantau secara langsung aktivitas nelayan, memastikan bahwa ia beroperasi di wilayah perairan yang diizinkan dan tidak melanggar zona konservasi atau batas negara.

VMS juga memberikan data yang sangat berguna untuk evaluasi aktivitas perikanan, seperti frekuensi dan pola perjalanan kapal, serta area-area penangkapan utama. Data ini penting dalam mendukung perumusan kebijakan berbasis bukti (*evidence-based policy*), terutama dalam menetapkan zona tangkap, kuota penangkapan, serta strategi konservasi sumber daya perikanan. VMS juga memungkinkan identifikasi perilaku mencurigakan yang dapat mengindikasikan praktik penangkapan ilegal atau tidak dilaporkan.

Penerapan VMS juga menjadi alat penting dalam pemberantasan IUU *fishing* (*Illegal, Unreported, and Unregulated fishing*), yang menjadi tantangan besar bagi banyak negara, terutama negara berkembang. Dengan sistem yang transparan, pemerintah dapat menindak kapal-kapal yang melanggar aturan dan memperkuat pengawasan lintas wilayah. Bahkan, kerjasama antarnegara melalui berbagi data VMS menjadi salah satu bentuk kolaborasi global untuk melindungi stok ikan dan ekosistem laut.

c. Penerapan *Drone* dan Pemantauan Udara

Penggunaan *drone* dalam sektor perikanan tangkap telah menjadi salah satu inovasi teknologi yang memberikan dampak signifikan terhadap pengelolaan sumber daya perairan secara lebih efektif dan efisien. *Drone*, atau pesawat tanpa awak, memungkinkan pemantauan udara terhadap kondisi perairan yang sulit dijangkau oleh kapal atau tenaga manusia. Dengan teknologi kamera resolusi tinggi dan sensor termal, *drone* dapat memberikan gambaran visual yang rinci mengenai wilayah

pesisir, zona perlindungan laut, dan habitat penting seperti terumbu karang, padang lamun, serta hutan mangrove.

Salah satu kegunaan utama *drone* adalah dalam mendeteksi dan mendokumentasikan aktivitas penangkapan ikan yang tidak sesuai aturan. *Drone* dapat dengan cepat mengidentifikasi kapal yang beroperasi di wilayah terlarang atau melampaui batas kuota, serta menangkap bukti visual yang bisa dijadikan dasar tindakan hukum. Penggunaan *drone* terbukti meningkatkan kecepatan respons pengawasan dan efektivitas penegakan hukum di sektor perikanan, khususnya di wilayah-wilayah yang sebelumnya sulit dijangkau secara rutin oleh patroli laut.

Drone juga dapat digunakan untuk membantu nelayan dalam menemukan lokasi konsentrasi ikan. Dengan bantuan sensor suhu dan pencitraan termal dari udara, *drone* dapat mengidentifikasi pergerakan massa ikan di permukaan perairan. Informasi ini sangat berguna dalam menentukan lokasi tangkap yang efisien, sehingga dapat menghemat waktu, bahan bakar, dan meningkatkan hasil tangkapan. Penggunaan *drone* juga mendukung pemantauan musim pemijahan, migrasi ikan, serta pendataan sumber daya laut secara berkala.

3. Teknologi dalam Pengolahan Hasil Perikanan

Pengolahan juga dapat memanfaatkan berbagai inovasi teknologi untuk meningkatkan kualitas dan keberlanjutan produk perikanan.

a. Teknologi Pengemasan dan Penyimpanan

Teknologi pengemasan dan penyimpanan merupakan komponen vital dalam rantai pasok hasil perikanan, terutama ketika produk harus menempuh perjalanan panjang menuju konsumen domestik maupun internasional. Produk perikanan dikenal cepat rusak karena kandungan proteinnya yang tinggi dan sifatnya yang mudah terdegradasi oleh bakteri serta enzim pasca panen. Oleh karena itu, pengemasan yang tepat menjadi strategi utama dalam memperpanjang masa simpan serta mempertahankan kesegaran dan nilai gizi produk.

Salah satu inovasi yang telah banyak digunakan adalah teknologi pengemasan vakum dan atmosfer terkendali (*Modified Atmosphere Packaging*/MAP). Dalam metode ini, udara dalam kemasan diganti dengan campuran gas tertentu seperti nitrogen

atau karbon dioksida, yang memperlambat pertumbuhan mikroorganisme dan oksidasi lemak. Teknologi ini sangat efektif dalam mempertahankan warna, tekstur, dan rasa ikan, sehingga produk tetap menarik di mata konsumen (Nguyen *et al.*, 2020). Metode ini juga membantu mengurangi limbah makanan karena memperpanjang masa konsumsi produk.

Penyimpanan dingin juga berperan penting dalam menjaga kualitas produk perikanan. Teknologi pembekuan cepat atau *flash freezing* mampu membekukan produk dalam waktu sangat singkat, mencegah terbentuknya kristal es besar yang dapat merusak struktur sel ikan. Teknologi ini memastikan bahwa tekstur dan kualitas organoleptik produk tetap terjaga setelah dicairkan. Bersama dengan sistem pendinginan canggih berbasis kontrol suhu otomatis, rantai dingin (*cold chain*) dapat dipertahankan sejak dari tempat produksi hingga ke tangan konsumen.

b. Teknologi Proses Fermentasi dan Pengawetan

Teknologi proses fermentasi dan pengawetan dalam pengolahan hasil perikanan berperan penting dalam memperpanjang umur simpan, meningkatkan keamanan pangan, serta menambah nilai ekonomis produk. Fermentasi merupakan proses biokimia yang melibatkan aktivitas mikroorganisme seperti bakteri asam laktat, ragi, atau enzim alami yang secara perlahan mengubah senyawa-senyawa organik dalam ikan menjadi bentuk yang lebih stabil. Proses ini tidak hanya berfungsi sebagai metode pengawetan, tetapi juga menghasilkan cita rasa khas yang disukai di berbagai budaya, seperti pada produk ikan peda, bekasam, atau terasi (Marti-Quijal *et al.*, 2020).

Perkembangan teknologi modern telah membawa metode fermentasi tradisional ke level yang lebih higienis dan terstandarisasi. Melalui penggunaan *kultur starter* mikroba yang telah teruji, proses fermentasi dapat dikendalikan secara lebih presisi, baik dari sisi waktu, suhu, maupun kadar pH. Hal ini menghasilkan produk yang lebih konsisten kualitasnya dan lebih aman dikonsumsi karena mengurangi risiko kontaminasi mikroba patogen. Teknologi fermentasi modern juga memungkinkan pengurangan penggunaan garam berlebih yang

biasa ditemukan pada produk fermentasi konvensional, sehingga lebih ramah terhadap kesehatan konsumen.

Salah satu keunggulan fermentasi adalah kemampuannya untuk meningkatkan nilai gizi produk perikanan. Proses ini mampu meningkatkan ketersediaan nutrisi, seperti *asam amino esensial* dan *asam lemak omega-3*, serta menghasilkan senyawa *bioaktif* yang dapat memberikan manfaat kesehatan tambahan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa fermentasi juga dapat menurunkan kadar senyawa berbahaya seperti *histamin* pada ikan yang tidak segar, sehingga meningkatkan keamanan konsumsinya.

D. Keberlanjutan dan Konservasi Sumber Daya Perikanan

Keberlanjutan dan konservasi sumber daya perikanan menjadi isu penting dalam pengelolaan perikanan di seluruh dunia. Sumber daya perikanan adalah salah satu komponen penting dalam ekonomi global, memberikan pangan dan mata pencaharian bagi jutaan orang. Namun, praktik perikanan yang tidak berkelanjutan dapat mengancam ekosistem laut dan perairan, menyebabkan penurunan stok ikan yang signifikan, serta merusak habitat perairan. Oleh karena itu, penting untuk mengintegrasikan prinsip-prinsip keberlanjutan dan konservasi dalam pengelolaan sumber daya perikanan agar manfaatnya dapat dinikmati oleh generasi mendatang.

Keberlanjutan dalam sektor perikanan mengacu pada pengelolaan sumber daya perikanan dengan cara yang menjaga keseimbangan ekosistem perairan dan memastikan bahwa ikan dan organisme laut lainnya dapat dipanen tanpa mengancam kemampuannya untuk berkembang biak dan regenerasi di masa depan. Perikanan berkelanjutan adalah perikanan yang beroperasi dalam batas-batas ekologi yang dapat dipertahankan, dengan memperhatikan kesejahteraan sosial dan ekonomi komunitas yang bergantung pada sumber daya tersebut.

1. Penetapan Zona Perlindungan Laut

Penetapan zona perlindungan laut merupakan salah satu strategi utama dalam upaya pelestarian sumber daya perikanan dan perlindungan ekosistem laut secara menyeluruh. Strategi ini bertujuan untuk

mengurangi tekanan terhadap lingkungan perairan akibat aktivitas manusia, khususnya penangkapan ikan yang tidak terkontrol. Kawasan konservasi perairan, atau yang lebih dikenal sebagai *Marine Protected Areas* (MPAs), dirancang untuk memberikan ruang bagi ekosistem laut agar dapat pulih dan berkembang secara alami. Dalam jangka panjang, kawasan ini akan berdampak positif terhadap keberlanjutan perikanan dan menjaga keseimbangan ekologis.

MPAs biasanya memiliki peraturan ketat mengenai aktivitas perikanan di dalamnya, seperti larangan menangkap ikan, melarang penggunaan alat tangkap merusak, atau bahkan membatasi akses manusia secara keseluruhan. Kawasan ini secara strategis ditetapkan di wilayah yang memiliki keanekaragaman hayati tinggi, habitat penting seperti terumbu karang, padang lamun, dan hutan mangrove, atau daerah pembiakan dan asuhan ikan (*nursery and spawning grounds*). Dengan memberikan perlindungan penuh atau parsial terhadap kawasan tersebut, habitat penting dapat dipulihkan dari degradasi yang disebabkan oleh aktivitas eksploitasi.

Kawasan konservasi laut yang dikelola dengan baik mampu meningkatkan populasi ikan di dalam kawasan maupun di perairan sekitarnya. Fenomena ini dikenal sebagai *spillover effect*, di mana ikan-ikan dewasa dari zona konservasi bermigrasi ke luar zona dan dapat ditangkap oleh nelayan. Dengan demikian, MPAs tidak hanya melindungi sumber daya perikanan di dalam zona perlindungan, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan hasil tangkapan di perairan terbuka.

Di Indonesia, penetapan kawasan konservasi laut telah menjadi bagian penting dari kebijakan kelautan nasional. Pemerintah melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) menargetkan pembentukan kawasan konservasi seluas 32,5 juta hektare pada tahun 2030. Beberapa kawasan konservasi laut yang telah ditetapkan antara lain Taman Nasional Laut Bunaken di Sulawesi Utara, Taman Nasional Wakatobi di Sulawesi Tenggara, dan Kawasan Konservasi Perairan Raja Ampat di Papua Barat. Kawasan-kawasan ini tidak hanya memiliki nilai ekologis tinggi, tetapi juga menjadi pusat ekowisata dan penelitian kelautan.

Penetapan zona perlindungan laut di Indonesia juga melibatkan masyarakat lokal dalam pengelolaannya. Pendekatan berbasis masyarakat ini penting untuk memastikan keberhasilan jangka panjang dari konservasi. Partisipasi masyarakat dalam pemantauan, penegakan

hukum, dan edukasi lingkungan menjadi kunci utama dalam menjaga kawasan agar tetap berfungsi sesuai tujuannya. Selain itu, pendekatan ini membantu memperkuat kearifan lokal dalam pengelolaan sumber daya laut yang berkelanjutan.

Keberhasilan zona perlindungan laut sangat bergantung pada efektivitas pengelolaan dan pengawasan di lapangan. Tantangan utama yang sering dihadapi adalah lemahnya penegakan hukum terhadap pelanggaran zona konservasi, kurangnya sumber daya manusia dan finansial, serta konflik kepentingan antara konservasi dan eksploitasi sumber daya. Oleh karena itu, dukungan teknologi pemantauan seperti penggunaan *drone*, VMS, dan aplikasi digital menjadi penting untuk meningkatkan efektivitas pengawasan.

2. Pengelolaan Kuota dan Kontrol Penangkapan

Pengelolaan kuota dan kontrol penangkapan merupakan strategi utama dalam memastikan keberlanjutan sumber daya perikanan, khususnya dalam menghadapi tantangan *Overfishing* yang semakin mengancam ekosistem laut global. Dengan menetapkan kuota tangkapan yang ketat dan berbasis data ilmiah, para pengelola perikanan berusaha menjaga populasi ikan agar tetap stabil dan mampu berkembang biak secara alami. Kuota tangkapan ini biasanya ditetapkan berdasarkan hasil survei stok ikan, tingkat reproduksi, dan faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi populasi. Strategi ini tidak hanya menjaga keberlanjutan ekologis, tetapi juga menjamin keberlangsungan mata pencaharian para nelayan dalam jangka panjang.

Kuota tangkapan biasanya diterapkan dalam bentuk jumlah maksimum tangkapan per jenis ikan dalam periode waktu tertentu, seperti per tahun atau per musim. Setiap negara atau wilayah dapat menetapkan kuotanya sendiri, tergantung pada jenis ikan yang tersedia di perairannya. Kuota ini bisa diberikan kepada individu, kelompok nelayan, atau perusahaan perikanan. Dengan sistem ini, setiap pihak bertanggung jawab menjaga agar aktivitas penangkapannya tidak melebihi batas yang telah ditentukan. Penetapan kuota seperti ini dapat mencegah eksploitasi berlebihan terhadap spesies tertentu, terutama yang bernilai ekonomi tinggi.

Kontrol penangkapan juga meliputi regulasi terhadap jenis alat tangkap yang diperbolehkan. Alat tangkap yang tidak selektif atau merusak habitat, seperti trawl dasar atau pukat harimau, sering dilarang

atau dibatasi penggunaannya karena dapat menyebabkan *bycatch* (penangkapan spesies non-target) dan kerusakan lingkungan. Sebaliknya, alat tangkap yang lebih selektif dan ramah lingkungan, seperti bubu atau pancing ulur, lebih dianjurkan. Regulasi ini bertujuan untuk melindungi keanekaragaman hayati dan ekosistem laut yang menjadi habitat berbagai jenis ikan.

Musim tangkap juga menjadi aspek penting dalam kontrol penangkapan. Penutupan musim tangkap (*fishing moratorium*) biasanya diberlakukan pada periode ikan bertelur atau masa pemijahan untuk memberi kesempatan bagi ikan berkembang biak dan menambah jumlah populasi. Dengan mengatur waktu penangkapan, pengelola perikanan dapat mencegah penangkapan ikan dalam fase kritis siklus hidupnya. Hal ini sangat penting untuk mempertahankan populasi ikan dari generasi ke generasi dan menjaga produktivitas jangka panjang dari perikanan.

Ukuran minimum ikan yang boleh ditangkap juga menjadi instrumen dalam pengelolaan perikanan yang berkelanjutan. Dengan melarang penangkapan ikan yang belum mencapai ukuran dewasa atau usia reproduktif, pemerintah berupaya menjaga agar ikan memiliki kesempatan untuk berkembang biak setidaknya satu kali sebelum ditangkap. Strategi ini sangat penting dalam menjaga keberlangsungan stok ikan, terutama bagi spesies yang pertumbuhannya lambat atau memiliki siklus hidup panjang.

Pengelolaan kuota dan kontrol penangkapan yang efektif hanya dapat terlaksana jika didukung oleh sistem pemantauan, pelaporan, dan penegakan hukum yang kuat. Teknologi seperti *Vessel Monitoring System* (VMS), *logbook* digital, dan pengawasan berbasis satelit dapat digunakan untuk memantau aktivitas perikanan secara *real-time*. Dengan teknologi ini, otoritas perikanan dapat memastikan bahwa nelayan tidak melanggar kuota atau memasuki wilayah terlarang. Sistem ini juga memungkinkan transparansi dan akuntabilitas dalam sektor perikanan.

3. Praktik Perikanan yang Selektif

Praktik perikanan yang selektif merupakan pendekatan yang sangat penting dalam upaya menjaga keberlanjutan sumber daya perikanan dan melindungi ekosistem laut. Secara umum, perikanan selektif bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap spesies non-target, atau yang dikenal dengan istilah *bycatch*, yaitu spesies yang tidak diinginkan yang terperangkap dalam alat tangkap. Salah satu

tantangan terbesar dalam perikanan tradisional adalah penangkapan ikan yang tidak diinginkan, yang dapat menyebabkan penurunan populasi spesies tersebut dan merusak struktur ekosistem. Oleh karena itu, pengembangan alat tangkap yang dapat memilih ikan berdasarkan ukuran atau jenis menjadi sangat penting untuk mencapai tujuan ini.

Salah satu inovasi dalam perikanan selektif adalah pengembangan alat tangkap berbasis teknologi yang lebih canggih. Beberapa alat tangkap modern dapat diatur sedemikian rupa sehingga hanya menangkap ikan dengan ukuran tertentu atau bahkan spesies tertentu. Sebagai contoh, penggunaan jaring dengan ukuran lubang yang dapat disesuaikan memungkinkan nelayan untuk menangkap ikan dengan ukuran yang lebih besar sementara membiarkan ikan muda atau ikan yang belum berkembang biak untuk lepas. Hal ini tidak hanya membantu menjaga keseimbangan populasi ikan, tetapi juga memungkinkan ikan yang belum siap untuk berkembang biak untuk tumbuh dan reproduksi.

Teknologi lainnya yang semakin digunakan dalam praktik perikanan selektif adalah alat tangkap berbasis sensor atau sistem identifikasi suara. Sistem ini dapat mendeteksi spesies ikan tertentu berdasarkan sinyal suara atau tanda-tanda biologis lainnya yang memudahkan pemilahan ikan. Sistem ini memungkinkan penangkapan ikan yang lebih selektif dan dapat mengurangi kerusakan habitat yang sering terjadi akibat penggunaan alat tangkap yang tidak selektif seperti trawl dasar. Dengan penggunaan alat ini, praktisi perikanan dapat lebih mudah menghindari kerusakan pada ekosistem laut yang sangat sensitif, seperti terumbu karang atau padang lamun.

Penggunaan alat tangkap selektif dapat membantu melindungi spesies yang rentan atau terancam punah. Beberapa spesies ikan, seperti penyu atau paus, sering kali menjadi korban *bycatch* dalam perikanan besar, yang berpotensi memperburuk ancaman terhadap kelangsungan hidupnya. Dengan pengembangan teknologi perikanan selektif yang lebih ramah lingkungan, dapat dipastikan bahwa spesies-spesies yang lebih rentan ini akan terhindar dari penangkapan yang tidak disengaja, sehingga membantu upaya konservasi. Dengan demikian, perikanan selektif tidak hanya bermanfaat bagi keberlanjutan sektor perikanan itu sendiri, tetapi juga bagi perlindungan keanekaragaman hayati laut.

Untuk memastikan keberhasilan penerapan alat tangkap selektif, diperlukan adanya pengawasan yang ketat dan penegakan hukum yang

efektif. Tanpa regulasi yang jelas dan pengawasan yang memadai, nelayan mungkin tergoda untuk menggunakan alat tangkap yang lebih merusak demi keuntungan yang lebih cepat. Oleh karena itu, pemerintah dan lembaga terkait perlu memastikan bahwa kebijakan yang ada mendukung penggunaan alat tangkap selektif. Selain itu, edukasi kepada nelayan mengenai pentingnya keberlanjutan sumber daya alam juga perlu dilakukan untuk menciptakan kesadaran tentang pentingnya menjaga ekosistem laut.

Penting juga untuk menciptakan insentif yang mendukung nelayan dalam beralih ke alat tangkap yang lebih selektif. Misalnya, subsidi atau bantuan teknis untuk membeli peralatan yang lebih ramah lingkungan, serta program pelatihan bagi nelayan untuk memahami cara kerja alat tersebut, akan sangat membantu. Tanpa insentif yang memadai, nelayan mungkin merasa sulit untuk beralih dari alat tangkap tradisional yang lebih murah dan lebih mudah digunakan.

Penerapan praktik perikanan yang selektif adalah langkah penting menuju perikanan yang berkelanjutan. Dengan mengurangi bycatch dan melindungi spesies yang rentan, kita tidak hanya memastikan kelangsungan hidup ikan dan ekosistem laut, tetapi juga meningkatkan efisiensi perikanan secara keseluruhan. Melalui kombinasi inovasi teknologi, regulasi yang ketat, dan kesadaran kolektif, praktik perikanan selektif dapat menjadi kunci untuk menjaga kelestarian sumber daya perikanan bagi generasi yang akan datang.

E. Dampak Perubahan Iklim terhadap Perikanan

Perubahan iklim global memiliki dampak yang luas dan signifikan terhadap berbagai sektor, termasuk sektor perikanan. Sebagai sektor yang sangat bergantung pada kondisi alam dan ekosistem perairan, perikanan menghadapi ancaman yang meningkat akibat perubahan iklim. Peningkatan suhu air, perubahan salinitas, naiknya permukaan laut, dan asidifikasi laut adalah beberapa dampak yang ditimbulkan oleh perubahan iklim dan memengaruhi keberlanjutan sumber daya perikanan.

1. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Habitat Perairan

Perubahan iklim dapat memengaruhi habitat perairan yang penting bagi banyak spesies ikan dan organisme laut lainnya. Salah satu

dampak yang paling signifikan adalah peningkatan suhu permukaan laut, yang dapat mengubah ekosistem laut dan pola distribusi spesies ikan. Sebagai contoh, suhu air yang lebih tinggi dapat menyebabkan perubahan dalam ketersediaan makanan bagi ikan, serta memperburuk kondisi perairan yang mendukung kelangsungan hidup spesies tertentu.

a. Suhu Laut yang Meningkat

Peningkatan suhu air laut sebagai dampak dari perubahan iklim telah menjadi salah satu faktor yang mengancam keberlanjutan ekosistem perairan. Suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan stres termal pada banyak spesies ikan, yang pada gilirannya mempengaruhi pola reproduksi dan kelangsungan hidup. Beberapa spesies ikan, seperti ikan cod dan salmon, sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan memiliki rentang suhu yang optimal untuk hidup dan berkembang biak. Ketika suhu air naik melebihi batas toleransi, ikan-ikan ini akan kesulitan bertahan hidup, yang dapat mengarah pada penurunan stok atau bahkan kepunahan lokal dalam beberapa daerah.

Suhu yang meningkat juga berdampak pada kualitas air laut secara keseluruhan. Proses dekomposisi bahan organik di dasar laut akan berlangsung lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi, yang menyebabkan penurunan kadar oksigen di perairan. Kekurangan oksigen ini, yang sering disebut sebagai dead zones, dapat menciptakan lingkungan yang tidak mendukung kehidupan bagi banyak spesies laut, baik ikan maupun organisme lainnya. Kondisi ini meningkatkan stres ekologis dan mengurangi keragaman hayati di daerah-daerah tertentu.

Dampak dari peningkatan suhu air laut ini tidak hanya mempengaruhi spesies yang rentan terhadap perubahan suhu, tetapi juga mengganggu keseimbangan ekosistem laut secara keseluruhan. Perubahan distribusi spesies, ketidakseimbangan dalam rantai makanan, dan penurunan kualitas air dapat mengganggu aktivitas perikanan dan ekonomi yang bergantung pada sumber daya laut.

b. Asidifikasi Laut

Asidifikasi laut merupakan salah satu dampak signifikan dari perubahan iklim yang dapat mengancam ekosistem laut secara keseluruhan. Proses ini terjadi ketika karbon dioksida (CO₂) yang berlebihan di atmosfer diserap oleh laut, yang kemudian

bereaksi dengan air laut untuk membentuk asam karbonat, sehingga menurunkan pH air laut. Penurunan pH ini membuat air laut menjadi lebih asam, yang dapat memengaruhi kehidupan organisme laut, terutama yang bergantung pada kalsium karbonat untuk membentuk cangkang atau kerangkanya (Doney *et al.*, 2020).

Organisme-organisme seperti *moluska*, *krustasea*, dan terumbu karang sangat terpengaruh oleh asidifikasi laut. Kalsium karbonat, yang merupakan bahan dasar untuk pembentukan cangkang dan kerangka, menjadi lebih sulit untuk diproduksi ketika pH air laut menurun. Hal ini menghambat pertumbuhan dan perkembangan organisme-organisme tersebut, yang dapat mengakibatkan penurunan jumlah. Terumbu karang, yang berfungsi sebagai habitat bagi banyak spesies ikan, sangat rentan terhadap asidifikasi, yang dapat merusak struktur karang dan mengganggu keseimbangan ekosistem laut.

Kerusakan pada organisme yang bergantung pada kalsium karbonat ini akan berdampak pada seluruh rantai makanan laut. Spesies ikan dan hewan laut lainnya yang bergantung pada *moluska* dan *krustasea* sebagai sumber makanan akan menghadapi kesulitan dalam memperoleh pakan yang cukup. Akibatnya, asidifikasi laut tidak hanya mengancam keberlanjutan ekosistem perairan, tetapi juga dapat merusak perekonomian yang bergantung pada sektor perikanan dan pariwisata yang terkait dengan terumbu karang.

c. Meningkatkan Permukaan Laut

Peningkatan permukaan laut sebagai akibat dari perubahan iklim menjadi salah satu ancaman besar bagi ekosistem pesisir. Proses ini terjadi akibat pencairan es di kutub dan pemanasan air laut yang menyebabkan volume air laut meningkat. Daerah pesisir yang rendah, seperti lahan basah, terumbu karang, dan hutan mangrove, sangat rentan terhadap dampak ini. Lahan-lahan basah dan terumbu karang, yang berfungsi sebagai tempat berlindung dan pembiakan bagi berbagai spesies ikan, terancam hilang atau mengalami kerusakan parah akibat terendam air laut yang semakin tinggi (Golam *et al.*, 2017).

Peningkatan permukaan laut juga menyebabkan intrusi air asin ke dalam ekosistem air tawar. Proses ini mengubah salinitas

perairan di daerah pesisir dan di delta sungai, yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem air tawar. Beberapa spesies ikan air tawar yang bergantung pada salinitas tertentu untuk tumbuh dan berkembang biak akan terancam kelangsungannya. Hal ini juga dapat mempengaruhi keberadaan tumbuhan air tawar yang berfungsi sebagai habitat dan sumber pakan bagi ikan.

Kenaikan permukaan laut yang berkelanjutan dapat mengurangi kapasitas ekosistem pesisir untuk menyediakan jasa ekosistem yang penting, seperti perlindungan terhadap bencana alam, pengendalian erosi, dan pemeliharaan biodiversitas. Kehilangan mangrove dan terumbu karang juga dapat berdampak pada ketahanan daerah pesisir terhadap badai dan gelombang tinggi. Untuk itu, penting bagi negara-negara di dunia untuk mengimplementasikan kebijakan yang dapat memperlambat perubahan iklim dan memberikan perlindungan kepada ekosistem pesisir yang terancam.

2. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Distribusi dan Produktivitas Spesies Ikan

Suhu laut yang meningkat dan perubahan kondisi perairan memengaruhi pola distribusi spesies ikan. Banyak spesies ikan yang terpengaruh oleh suhu air dan salinitas, yang mengarah pada pergeseran pola distribusi.

a. Perpindahan Spesies Ikan

Perubahan suhu laut yang dipengaruhi oleh perubahan iklim menyebabkan pergeseran distribusi spesies ikan ke wilayah yang lebih dingin atau lebih dalam. Banyak spesies ikan yang sensitif terhadap perubahan suhu dan salinitas, seperti ikan tropis, kini telah bergerak menuju perairan yang lebih sejuk di daerah subarktik dan subantartika. Perpindahan ini disebabkan oleh upaya ikan untuk bertahan hidup di lingkungan yang lebih sesuai dengan kebutuhan fisiologis, seperti suhu yang lebih rendah yang mendukung metabolisme. Hal ini juga terkait dengan perubahan dalam pola migrasi ikan yang sebelumnya terbiasa dengan perairan tropis yang hangat (Mills *et al.*, 2015).

Penelitian yang dilakukan oleh Cheung *et al.* (2020) menunjukkan bahwa pergeseran distribusi spesies ikan ini dapat

mencapai lebih dari 500 km dalam beberapa dekade. Hal ini tentunya berpengaruh besar terhadap ekosistem perairan yang ada, karena spesies ikan yang dulu menjadi bagian dari suatu ekosistem tertentu kini pindah ke ekosistem lain. Pergeseran ini tidak hanya mempengaruhi struktur dan dinamika ekosistem laut, tetapi juga mengubah pola rantai makanan di perairan tersebut, yang dapat mempengaruhi spesies lain yang bergantung pada ikan-ikan tersebut.

Dampak dari pergeseran distribusi ini juga dirasakan oleh masyarakat pesisir yang bergantung pada perikanan untuk mata pencaharian. Peningkatan jarak antara lokasi penangkapan ikan tradisional dan sumber daya perikanan yang tersedia bisa mengganggu ketersediaan ikan di pasar. Hal ini berpotensi mengurangi pendapatan nelayan dan mengubah pola konsumsi ikan di wilayah tersebut.

b. Dampak terhadap Produktivitas Perikanan

Perubahan iklim membawa dampak signifikan terhadap produktivitas perikanan global, dengan banyak wilayah yang mengandalkan perikanan tangkap mengalami penurunan hasil tangkapan. Salah satu contoh nyata adalah di wilayah Pasifik, di mana suhu laut yang lebih tinggi telah menyebabkan penurunan stok ikan cod. Ikan cod, yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu, telah mengalami penurunan jumlah populasi akibat stres termal dan perubahan pola distribusinya. Akibatnya, nelayan di wilayah tersebut mengalami penurunan hasil tangkapan, yang berdampak pada ekonomi lokal dan ketersediaan ikan di pasar (Ding *et al.*, 2017).

Dampak perubahan iklim terhadap produktivitas perikanan dapat bervariasi tergantung pada lokasi dan spesies ikan yang terlibat. Beberapa wilayah yang mengalami perubahan suhu dan salinitas dapat melihat peningkatan produktivitas untuk spesies tertentu yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi tersebut. Misalnya, beberapa jenis ikan yang sebelumnya tidak ditemukan di perairan hangat dapat mulai berkembang biak lebih banyak di perairan yang lebih panas. Namun, meskipun ada peningkatan produktivitas untuk beberapa spesies, kerugian dalam sektor perikanan secara keseluruhan sering kali lebih besar. Penurunan hasil tangkapan untuk spesies yang lebih rentan dapat

mengimbangi potensi peningkatan produktivitas untuk spesies lain.

3. Dampak Perubahan Iklim terhadap Budidaya Perikanan

Budidaya perikanan atau akuakultur juga terpengaruh oleh perubahan iklim. Kondisi yang tidak stabil, seperti fluktuasi suhu air, polusi, dan asidifikasi laut, dapat mempengaruhi produktivitas dan kelangsungan hidup ikan yang dibudidayakan. Selain itu, bencana alam seperti badai dan banjir yang dipicu oleh perubahan iklim dapat merusak fasilitas akuakultur dan mengancam pasokan ikan budidaya.

a. Perubahan Suhu dalam Sistem Akuakultur

Perubahan suhu akibat perubahan iklim dapat memberikan dampak signifikan terhadap sistem akuakultur, baik positif maupun negatif. Suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat metabolisme ikan budidaya, yang berarti ikan akan tumbuh lebih cepat dalam kondisi yang lebih hangat. Proses ini dapat meningkatkan efisiensi produksi dalam akuakultur, terutama pada spesies seperti ikan nila dan tilapia yang lebih adaptif terhadap suhu tinggi. Namun, percepatan pertumbuhan ini tidak selalu berdampak positif, karena suhu yang lebih tinggi juga dapat membawa konsekuensi serius, terutama terkait dengan kesehatan ikan.

Suhu yang lebih tinggi meningkatkan stres termal pada ikan, yang dapat menurunkan daya tahan tubuh terhadap penyakit dan parasit. Salah satu contoh yang jelas adalah ikan salmon, yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu. Pada suhu yang lebih tinggi, salmon menjadi lebih rentan terhadap infeksi bakteri dan parasit seperti sea lice. Infeksi ini dapat menurunkan kualitas ikan dan memperburuk hasil panen. Hal yang sama juga terjadi pada udang yang dibudidayakan dalam sistem akuakultur, yang dapat mengalami penurunan ketahanan tubuh terhadap patogen, sehingga memperburuk laju kematian.

Suhu tinggi dalam akuakultur dapat mengubah keseimbangan ekosistem di dalam kolam budidaya. Air yang lebih hangat sering kali mengurangi kandungan oksigen terlarut, yang mengurangi ketersediaan oksigen bagi ikan. Hal ini menambah risiko stres pada ikan dan memperburuk kualitas air dalam sistem akuakultur.

b. Peningkatan Kejadian Bencana Alam

Perubahan iklim telah menyebabkan peningkatan frekuensi dan intensitas bencana alam, termasuk badai tropis, banjir, dan gelombang panas, yang berpotensi merusak sistem akuakultur secara langsung. Badai tropis yang lebih kuat dan sering, misalnya, dapat merusak infrastruktur akuakultur seperti kolam budidaya ikan, fasilitas pengolahan, dan sistem pemantauan yang penting untuk kelangsungan usaha budidaya. Instalasi yang rusak ini tidak hanya mengganggu proses produksi, tetapi juga dapat menyebabkan kehilangan stok ikan atau udang yang dibudidayakan, yang berkontribusi pada kerugian ekonomi yang besar bagi petani akuakultur.

Pada 2017, badai Irma yang melanda Karibia menjadi contoh nyata dari dampak bencana alam terhadap sektor akuakultur. Badai ini merusak peternakan udang dan ikan yang berlokasi di pesisir, menyebabkan kerusakan signifikan pada infrastruktur budidaya dan menurunkan hasil produksi secara drastis. Kerugian ekonomi yang timbul akibat badai ini tidak hanya berpengaruh pada sektor akuakultur, tetapi juga pada perekonomian lokal yang bergantung pada sektor tersebut, seperti lapangan pekerjaan yang hilang dan pengurangan pasokan produk perikanan di pasar.

Bencana alam seperti banjir juga dapat merusak kualitas air di lokasi budidaya, yang mengarah pada perubahan salinitas dan kandungan oksigen dalam air. Hal ini dapat menurunkan kelangsungan hidup ikan atau udang dalam budidaya dan meningkatkan risiko penyakit. Oleh karena itu, adaptasi terhadap perubahan iklim dan peningkatan ketahanan terhadap bencana alam menjadi kunci dalam melindungi sektor akuakultur dari dampak yang semakin sering terjadi di masa depan.



BAB IV

PENGELOLAAN TERPADU SUMBER DAYA ALAM

Pengelolaan terpadu sumber daya alam (SDA) adalah pendekatan yang mengintegrasikan berbagai sektor dan elemen dalam penggunaan, konservasi, dan pengelolaan SDA untuk mencapai keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Dalam konteks pertanian dan perikanan, pengelolaan terpadu memungkinkan adanya sinergi antara berbagai sumber daya seperti tanah, air, dan biota untuk meningkatkan produktivitas tanpa merusak ekosistem yang ada. Pendekatan ini bertujuan untuk meminimalkan konflik antara berbagai pemangku kepentingan serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan yang seringkali dihasilkan oleh pendekatan yang terpisah-pisah dalam pengelolaan SDA.

Salah satu model yang penting dalam pengelolaan terpadu SDA adalah sistem pertanian terpadu (*integrated farming system*) yang menggabungkan berbagai praktik pertanian, peternakan, perikanan, dan kehutanan dalam satu unit produksi yang saling mendukung. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, tetapi juga mendukung ketahanan pangan dan ekonomi lokal. Di sisi lain, pengelolaan sumber daya perikanan yang terintegrasi dengan sektor lain, seperti pertanian dan kehutanan, akan membantu dalam menjaga keberlanjutan ekosistem perairan dan mengurangi kerusakan lingkungan.

Keterlibatan masyarakat dan sektor swasta dalam pengelolaan terpadu sangat penting untuk menciptakan kolaborasi yang efektif. Pengelolaan terpadu SDA bukan hanya tentang pengelolaan fisik sumber daya, tetapi juga tentang menciptakan kebijakan dan regulasi yang mendukung keberlanjutan. Keberhasilan pengelolaan terpadu SDA memerlukan partisipasi aktif dari semua pihak, mulai dari pemerintah,

masyarakat lokal, hingga pelaku usaha yang memiliki kepentingan dalam keberlanjutan sektor pertanian dan perikanan.

A. Konsep *Integrated Farming System* (Sistem Pertanian Terpadu)

Pertanian menjadi salah satu sektor yang vital dalam menopang kebutuhan pangan, energi, dan bahan baku industri. Namun, tekanan terhadap lahan, perubahan iklim, degradasi lingkungan, serta meningkatnya kebutuhan terhadap efisiensi produksi dan pelestarian lingkungan menuntut adanya pendekatan baru yang berkelanjutan. Salah satu pendekatan tersebut adalah konsep *Integrated Farming System* (IFS) atau sistem pertanian terpadu.

IFS merupakan pendekatan pengelolaan pertanian yang menyatukan berbagai komponen produksi seperti tanaman, ternak, perikanan, dan kehutanan dalam satu sistem usaha tani yang sinergis, berkelanjutan, dan efisien. Sistem ini diyakini mampu meningkatkan pendapatan petani, mengurangi limbah, serta memelihara kesuburan tanah dan kelestarian lingkungan (Kabuei & Kallevis, 2014). IFS adalah sistem pertanian yang mengintegrasikan berbagai komponen usaha tani seperti tanaman pangan, hortikultura, peternakan, perikanan, dan agroforestri dalam suatu sistem produksi yang saling mendukung, sehingga meningkatkan efisiensi dan produktivitas lahan serta menjaga keseimbangan ekologi. IFS tidak hanya sekadar penggabungan berbagai komoditas pertanian, namun dirancang agar tiap komponen saling berinteraksi secara sinergis. Beberapa komponen utama dalam IFS antara lain:

1. Tanaman Pangan dan Hortikultura

Tanaman pangan dan hortikultura berperan yang sangat penting dalam sistem ketahanan pangan global, baik dari segi ketersediaan pangan maupun sebagai sumber pendapatan bagi petani. Komoditas utama seperti padi, jagung, dan kedelai merupakan bahan makanan pokok yang tidak hanya memenuhi kebutuhan gizi masyarakat, tetapi juga berperan sebagai komoditas ekspor yang penting bagi perekonomian suatu negara. Padi, misalnya, menjadi makanan pokok bagi sebagian besar penduduk di Asia, termasuk Indonesia, sementara jagung dan kedelai menjadi bahan baku untuk berbagai produk makanan olahan dan pakan ternak.

Hortikultura, yang mencakup sayuran dan buah-buahan, juga memiliki peran yang tidak kalah penting. Sayuran seperti cabai, tomat, dan wortel, serta buah-buahan seperti pisang, mangga, dan apel, merupakan sumber vitamin dan mineral yang sangat dibutuhkan untuk diet sehat. Hortikultura tidak hanya memberikan kontribusi terhadap keberagaman konsumsi pangan, tetapi juga menjadi sumber pendapatan yang signifikan bagi petani skala kecil dan menengah. Permintaan yang terus meningkat terhadap produk hortikultura juga membuka peluang ekspor yang menjanjikan bagi negara-negara penghasil.

Sisa panen dan hasil sampingan tanaman juga memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung ketahanan pangan dan kesejahteraan petani. Sisa tanaman seperti jerami padi, kulit jagung, atau biji kedelai yang tidak digunakan untuk konsumsi manusia, dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Ini mengurangi ketergantungan petani pada pakan ternak komersial, yang sering kali mahal dan sulit diperoleh di beberapa daerah. Penggunaan sisa tanaman sebagai pakan ternak juga membantu mengurangi pemborosan dan meningkatkan efisiensi dalam sistem pertanian.

Sisa tanaman juga dapat diolah menjadi bahan kompos yang berguna untuk memperbaiki kualitas tanah. Penggunaan bahan organik seperti kompos dapat meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air. Ini sangat penting dalam pertanian berkelanjutan, di mana pemeliharaan kualitas tanah menjadi kunci untuk produksi pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan menggunakan hasil sampingan tanaman sebagai kompos, petani dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang dapat merusak ekosistem tanah.

2. Peternakan

Peternakan berperan yang sangat penting dalam sistem pertanian yang berkelanjutan, terutama dalam mengintegrasikan pemanfaatan limbah pertanian dan limbah ternak secara efisien. Kehadiran ternak seperti sapi, kambing, ayam, dan itik memungkinkan terjadinya siklus sumber daya yang saling mendukung, di mana limbah pertanian dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, sementara limbah ternak dapat diolah menjadi pupuk organik atau bahkan biogas. Integrasi antara peternakan dan pertanian ini tidak hanya membantu meningkatkan

efisiensi produksi, tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan (Siregar, 2023).

Limbah pertanian, seperti jerami padi, dedak jagung, atau daun-daun tanaman, seringkali menjadi bahan yang tidak digunakan untuk konsumsi manusia. Dalam sistem peternakan yang terintegrasi, bahan-bahan ini dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, mengurangi pemborosan dan mengurangi kebutuhan akan pakan ternak komersial yang lebih mahal. Pakan ternak yang berasal dari limbah pertanian juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan pakan impor, yang semakin mahal dan sulit diperoleh. Pemanfaatan limbah pertanian ini memberikan manfaat ekonomi yang besar bagi petani, terutama yang memiliki lahan terbatas dan tidak dapat membeli pakan ternak komersial.

Limbah ternak, terutama feses hewan, dapat menjadi sumber daya yang sangat berharga dalam sistem pertanian yang berkelanjutan. Feses hewan dapat diolah menjadi pupuk organik melalui proses pengomposan. Pupuk organik ini memiliki manfaat besar untuk meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan kapasitas tanah dalam menyimpan air. Penggunaan pupuk organik juga dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang dapat merusak kualitas tanah dan lingkungan. Dengan demikian, limbah ternak tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan tetapi juga meningkatkan produktivitas pertanian.

Limbah ternak juga dapat diolah menjadi biogas melalui proses fermentasi anaerobik. Biogas yang dihasilkan dari limbah ternak, seperti kotoran sapi atau ayam, dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan untuk kebutuhan rumah tangga atau pertanian. Pengolahan limbah ternak menjadi biogas dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, terutama metana, yang dihasilkan oleh limbah ternak jika dibiarkan membusuk di tempat terbuka. Dengan demikian, sistem peternakan yang mengelola limbah ternak menjadi energi terbarukan dapat berkontribusi dalam mengurangi dampak perubahan iklim.

3. Perikanan

Perikanan, khususnya budidaya ikan di kolam atau sawah dalam sistem mina-padi, merupakan salah satu metode yang efektif dalam meningkatkan produktivitas lahan secara berkelanjutan. Sistem mina-padi adalah model integrasi antara pertanian padi dan budidaya ikan yang dilakukan secara bersamaan dalam satu area lahan. Konsep ini

memungkinkan pemanfaatan lahan secara maksimal, sehingga meningkatkan hasil produksi baik dari sektor pertanian maupun perikanan. Selain itu, sistem ini juga berfungsi sebagai solusi dalam menghadapi masalah keterbatasan lahan yang sering dihadapi oleh petani.

Kotoran hewan, baik dari ikan maupun ternak, yang masuk ke kolam dalam sistem mina-padi, memberikan kontribusi penting dalam peningkatan kesuburan air dan kandungan nutrisi yang dibutuhkan oleh *plankton*. *Plankton* ini menjadi pakan alami bagi ikan yang dibudidayakan di kolam. Proses ini menciptakan ekosistem yang saling mendukung antara tanaman padi, ikan, dan mikroorganisme di dalam kolam. Nutrisi yang terkandung dalam kotoran hewan menjadi sumber makanan bagi *plankton* yang kemudian dikonsumsi oleh ikan, sehingga dapat mengurangi biaya pakan ikan yang biasanya dibeli secara komersial.

Sistem mina-padi juga memiliki keuntungan dalam hal pengelolaan air. Kolam yang digunakan untuk budidaya ikan juga berfungsi sebagai saluran irigasi bagi tanaman padi. Air yang mengalir ke sawah membawa nutrisi dari kolam yang dapat diserap oleh tanaman padi, meningkatkan hasil pertanian tanpa memerlukan tambahan pupuk kimia. Dengan demikian, air yang mengalir di kolam juga berfungsi ganda, yaitu sebagai media budidaya ikan sekaligus sebagai sumber nutrisi untuk tanaman padi.

Sistem mina-padi juga memperbaiki keseimbangan ekosistem. Ikan yang dibudidayakan di kolam dapat membantu mengendalikan populasi hama yang biasa menyerang tanaman padi, seperti serangga atau tanaman gulma. Selain itu, kotoran ikan yang mengendap di dasar kolam juga berfungsi sebagai pupuk alami yang menyuburkan tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman padi. Dengan mengintegrasikan budidaya ikan dan pertanian padi, sistem ini menciptakan lingkungan yang lebih seimbang dan ramah lingkungan.

4. Kompos dan Energi Terbarukan

Penerapan teknologi pengomposan dan pembuatan biogas dari limbah organik merupakan inovasi yang semakin populer dalam meningkatkan efisiensi sistem pertanian dan peternakan. Pengomposan adalah proses biologis di mana mikroorganisme mengurai bahan organik menjadi kompos yang kaya akan nutrisi. Kompos ini berfungsi sebagai

pupuk organik yang sangat berguna untuk meningkatkan kesuburan tanah. Selain itu, pengomposan mengurangi jumlah limbah organik yang dibuang ke tempat pembuangan sampah, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Pada sistem pertanian, penggunaan pupuk organik yang dihasilkan dari proses pengomposan memberikan banyak manfaat. Kompos meningkatkan struktur tanah dengan meningkatkan kapasitas retensi air, memperbaiki drainase, serta menambah kandungan bahan organik di dalam tanah. Ini memungkinkan tanaman untuk tumbuh dengan lebih sehat, karena mendapatkan nutrisi yang lebih baik dan tanah menjadi lebih subur. Penggunaan pupuk organik juga membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang bisa merusak ekosistem tanah dalam jangka panjang.

Teknologi pengomposan juga berkontribusi pada pengelolaan limbah yang lebih baik. Limbah pertanian, peternakan, serta limbah rumah tangga yang bersifat organik dapat diolah menjadi kompos. Hal ini tidak hanya mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA), tetapi juga memberikan nilai tambah pada bahan organik yang sebelumnya dianggap sebagai limbah. Dengan cara ini, teknologi pengomposan berperan penting dalam menciptakan sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik limbah organik juga memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif. Biogas, yang terutama terdiri dari metana, dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak, penerangan, atau bahkan untuk menghasilkan listrik. Penerapan biogas dalam kegiatan pertanian dan peternakan memungkinkan penggunaan energi yang lebih efisien, mengurangi ketergantungan pada energi fosil, dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Dalam beberapa kasus, biogas juga dapat dijual ke jaringan energi, memberikan tambahan sumber pendapatan bagi petani atau peternak.

B. Sinergi Pertanian dan Perikanan dalam Pengelolaan SDA

Indonesia merupakan negara agraris-maritim dengan potensi sumber daya alam (SDA) yang melimpah, khususnya di sektor pertanian dan perikanan. Namun, tantangan dalam pengelolaan SDA seperti degradasi lingkungan, perubahan iklim, dan alih fungsi lahan menuntut

integrasi lintas sektor. Salah satu pendekatan strategis untuk mewujudkan pengelolaan yang berkelanjutan adalah sinergi antara sektor pertanian dan perikanan, yang juga dikenal sebagai sistem *agro-aqua farming* atau pertanian terpadu berbasis perikanan.

Sinergi ini mencerminkan integrasi horizontal antar sektor produksi yang berpotensi meningkatkan efisiensi lahan, air, dan energi, sekaligus memperkuat ketahanan pangan dan ekonomi masyarakat. Pengelolaan SDA secara terpadu melalui pendekatan lintas sektor menjadi penting dalam mendukung agenda pembangunan berkelanjutan. Sinergi antara pertanian dan perikanan dalam konteks pengelolaan SDA mengacu pada integrasi dua sektor tersebut dalam satu sistem produksi atau kawasan, sehingga terjadi aliran sumber daya (seperti limbah organik, air, pupuk, dan pakan) secara efisien dan saling menguntungkan. Salah satu model paling dikenal adalah sistem mina-padi, yaitu budidaya ikan di sawah yang ditanami padi.

1. Mina-Padi (Integrasi Padi dan Ikan)

Mina-Padi, atau integrasi antara budidaya padi dan ikan, merupakan salah satu sistem pertanian yang telah diterapkan secara luas di Indonesia. Model ini memadukan dua kegiatan pertanian, yaitu penanaman padi dan pembudidayaan ikan dalam satu area lahan sawah yang sama. Praktik ini bukan hanya memanfaatkan ruang secara efisien tetapi juga meningkatkan produktivitas tanah tanpa perlu memperluas area pertanian. Dalam sistem ini, ikan seperti ikan mas, nila, atau lele dibudidayakan di sawah yang sama dengan tanaman padi. Sistem ini tidak hanya memberikan hasil padi yang melimpah, tetapi juga tangkapan ikan yang menguntungkan bagi petani.

Salah satu keuntungan utama dari sistem mina-padi adalah saling mendukung antara budidaya padi dan ikan. Air yang digunakan untuk mengairi tanaman padi juga memberikan lingkungan yang ideal bagi ikan untuk tumbuh. Ikan di dalam sawah membantu mengendalikan hama tanaman seperti larva, serangga, dan gulma, yang mengurangi kebutuhan akan pestisida kimia. Sementara itu, kotoran ikan berfungsi sebagai pupuk alami yang memperkaya tanah dengan unsur hara yang bermanfaat bagi pertumbuhan padi. Dengan demikian, kedua kegiatan ini saling memberikan keuntungan, baik bagi hasil padi maupun budidaya ikan.

Sistem mina-padi memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi petani. Petani dapat memperoleh dua sumber pendapatan dari satu lahan yang sama, yakni dari hasil panen padi dan hasil tangkapan ikan. Dengan demikian, potensi kerugian yang ditimbulkan akibat kegagalan panen padi dapat diminimalkan dengan adanya hasil tangkapan ikan. Ini menjadikan sistem mina-padi lebih tahan terhadap fluktuasi iklim atau perubahan cuaca yang bisa memengaruhi hasil pertanian.

Sistem mina-padi juga berkontribusi pada keberlanjutan pertanian dengan mengurangi ketergantungan pada *input* eksternal, seperti pupuk dan pestisida kimia. Penggunaan pupuk organik dari kotoran ikan meningkatkan kesuburan tanah secara alami, sementara ikan membantu menjaga keseimbangan ekosistem sawah dengan mengendalikan populasi hama. Dengan demikian, praktik ini lebih ramah lingkungan dan mendukung pertanian yang berkelanjutan dalam jangka panjang.

2. Kolam Terpadu dengan Pertanian Hortikultura

Sistem kolam terpadu dengan pertanian hortikultura merupakan salah satu pendekatan yang efisien dalam memanfaatkan sumber daya alam secara berkelanjutan. Dalam sistem ini, petani memanfaatkan area sekitar kolam ikan untuk menanam tanaman hortikultura seperti kangkung, bayam, atau tomat. Hal ini memungkinkan petani untuk memperoleh dua jenis hasil yang menguntungkan, yaitu ikan dan sayuran, dalam satu area yang sama. Sistem ini tidak hanya meningkatkan produktivitas lahan, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi petani.

Salah satu aspek utama dari sistem ini adalah penggunaan air kolam ikan untuk menyiram tanaman. Air kolam yang kaya akan nutrisi berasal dari kotoran ikan, sisa pakan, dan bahan organik lainnya. Kandungan nutrisi ini memberikan manfaat langsung bagi tanaman, karena tanaman dapat menyerap unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhannya. Dengan demikian, penggunaan air kolam yang kaya nutrisi mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, yang sering kali memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan tanah.

Sistem kolam terpadu dengan hortikultura ini juga memiliki keunggulan dalam hal efisiensi pemanfaatan lahan. Petani dapat menanam berbagai jenis sayuran di sekitar kolam tanpa memerlukan lahan tambahan, sehingga lahan yang terbatas dapat dimanfaatkan secara

optimal. Tanaman hortikultura yang ditanam di sekitar kolam dapat memberikan hasil yang cepat dan menguntungkan, seperti kangkung dan bayam, yang memiliki siklus pertumbuhan yang singkat. Dengan demikian, petani dapat memperoleh hasil yang lebih beragam dalam satu sistem pertanian.

Kolam ikan juga berfungsi sebagai tempat untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Ikan dalam kolam membantu mengendalikan populasi hama yang mungkin mengganggu tanaman. Selain itu, keberadaan ikan di kolam dapat memperbaiki struktur tanah di sekitar area kolam, karena kotoran ikan yang terurai memberikan unsur hara yang bermanfaat bagi tanah. Hal ini membuat tanah tetap subur dan mendukung pertumbuhan tanaman hortikultura dengan optimal. Keberadaan ikan dan tanaman yang saling mendukung menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

3. Agroforestri Berbasis Tambak

Agroforestri berbasis tambak merupakan sistem integrasi yang menggabungkan budidaya tambak udang atau ikan air payau dengan penanaman pohon-pohon pesisir seperti bakau, nipah, atau pohon buah. Pendekatan ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tambak, tetapi juga untuk menjaga keberlanjutan ekosistem pesisir yang vital. Dengan memadukan budidaya perikanan dengan tanaman pesisir, agroforestri berbasis tambak menawarkan manfaat ekologis dan ekonomi yang signifikan bagi masyarakat pesisir.

Salah satu keuntungan utama dari sistem agroforestri ini adalah kemampuannya untuk mengendalikan intrusi air laut yang dapat merusak lahan pertanian dan tambak. Tanaman bakau dan nipah, misalnya, memiliki akar yang kuat dan rapat yang dapat berfungsi sebagai penghalang alami terhadap gelombang laut dan pasang surut, sehingga melindungi tambak dan ekosistem sekitarnya. Akar-akar tanaman tersebut juga dapat mencegah erosi tanah di pesisir dan menjaga kestabilan substrat yang menjadi habitat bagi berbagai spesies ikan dan udang.

Tanaman bakau juga memiliki peran penting dalam menjaga kualitas air di sekitar tambak. Akar tanaman bakau dapat menyaring air dan mengurangi jumlah nutrisi berlebihan yang dapat merusak kualitas air dan menyebabkan *eutrofikasi*. Dengan demikian, keberadaan tanaman ini dapat menciptakan kondisi yang lebih baik bagi kesehatan

ikan dan udang yang dibudidayakan. Selain itu, tanaman bakau juga menjadi tempat berlindung bagi berbagai jenis organisme laut, seperti moluska, udang, dan ikan kecil, yang turut memperkaya biodiversitas kawasan tambak.

Di sisi ekonomi, agroforestri berbasis tambak dapat memberikan keuntungan ganda bagi petani. Selain hasil perikanan yang diperoleh dari tambak udang atau ikan, petani juga dapat memperoleh hasil dari produk tanaman pesisir, seperti buah dari pohon nipah atau kayu bakau yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan konstruksi atau bahan bakar. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan ketahanan pangan, tetapi juga meningkatkan pendapatan masyarakat pesisir. Keberagaman produk yang dihasilkan dari agroforestri berbasis tambak memberikan peluang pasar yang lebih luas bagi petani dan nelayan.

4. Aquaponik dan Hidroponik dengan Sistem Resirkulasi

Aquaponik dan hidroponik dengan sistem resirkulasi merupakan teknologi modern yang mengintegrasikan dua sistem pertanian yang sangat efisien dan berkelanjutan: budidaya ikan dan pertanian tanpa tanah. Pada sistem aquaponik, ikan dibudidayakan dalam tangki atau kolam, dan limbah yang dihasilkan oleh ikan, yang mengandung nutrisi, digunakan untuk memberi makan tanaman yang tumbuh dalam sistem hidroponik. Sebagai hasilnya, tanaman mendapatkan nutrisi yang dibutuhkan dari air yang tercemar oleh limbah ikan, sementara air yang telah disaring oleh akar tanaman akan kembali ke tangki ikan dalam kondisi lebih bersih dan siap digunakan kembali.

Sistem ini bekerja dalam siklus yang saling menguntungkan antara ikan dan tanaman. Limbah dari ikan mengandung bahan organik yang kaya akan nitrogen, yang merupakan unsur penting bagi pertumbuhan tanaman. Tanaman dalam sistem hidroponik, yang biasanya terdiri dari sayuran seperti selada, bayam, atau kangkung, menyerap unsur-unsur tersebut untuk tumbuh dan berkembang. Di sisi lain, tanaman berfungsi sebagai filter alami, menyaring kotoran dalam air dan mengurangi konsentrasi amonia atau nitrat yang berpotensi berbahaya bagi ikan. Dengan demikian, kedua komponen, ikan dan tanaman, saling mendukung dalam menjaga keseimbangan ekosistem mini ini.

Salah satu keuntungan utama dari sistem aquaponik dan hidroponik dengan resirkulasi adalah efisiensi penggunaan air yang

sangat tinggi. Dalam sistem tradisional, pertanian memerlukan banyak air untuk irigasi, sementara budidaya ikan menggunakan air dalam jumlah yang besar. Namun, dengan sistem resirkulasi, air yang digunakan dalam budidaya ikan diproses dan dimanfaatkan kembali oleh tanaman, mengurangi kebutuhan air secara signifikan. Hal ini menjadikannya solusi yang sangat berkelanjutan, terutama di daerah-daerah yang menghadapi masalah kekurangan air.

Sistem ini juga mengurangi penggunaan pupuk kimia. Limbah ikan mengandung nutrisi alami yang cukup untuk mendukung pertumbuhan tanaman tanpa memerlukan tambahan pupuk kimia. Ini menjadikan sistem akuaponik dan hidroponik dengan resirkulasi sebagai metode pertanian yang ramah lingkungan, mengurangi ketergantungan pada bahan kimia yang sering kali mencemari tanah dan air. Dengan demikian, sistem ini mendukung pertanian yang lebih bersih dan lebih aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

C. Pola Agroforestri dan Akuaponik dalam Pengelolaan SDA

Pengelolaan sumber daya alam (SDA) secara terpadu menjadi pendekatan strategis dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan di tengah tantangan lingkungan global, seperti deforestasi, degradasi lahan, krisis air, dan perubahan iklim. Dalam konteks tersebut, dua pendekatan yang terbukti efektif adalah agroforestri dan akuaponik, keduanya menawarkan solusi ekologis sekaligus produktif.

Agroforestri mengintegrasikan tanaman kehutanan dengan pertanian dan/atau peternakan dalam satu lahan, sedangkan akuaponik merupakan sistem pertanian yang memadukan budidaya ikan (akuakultur) dengan tanaman tanpa tanah (hidroponik), menggunakan prinsip sirkulasi nutrisi. Keduanya mendukung efisiensi SDA, memitigasi risiko lingkungan, dan meningkatkan kesejahteraan petani dan nelayan.

1. Agroforestri

Agroforestri adalah sistem penggunaan lahan yang mengombinasikan pohon dengan tanaman pertanian dan/atau hewan dalam bentuk spasial dan temporal yang terorganisir. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas lahan, konservasi tanah dan air, serta ketahanan pangan.

a. *Agrosilvikultur*

Agrosilvikultur adalah sistem agroforestri yang menggabungkan pohon dengan tanaman pertanian untuk menciptakan sinergi yang menguntungkan bagi keduanya. Dalam praktik ini, tanaman pertanian seperti kopi atau kakao ditanam bersama dengan pohon pelindung atau pohon penghasil kayu seperti *segon* atau *gliricidia*. Sistem ini dapat diterapkan di berbagai jenis lahan, terutama lahan kering dan perbukitan yang memiliki tantangan tertentu dalam hal kesuburan tanah dan ketersediaan air. Dengan menggabungkan tanaman pertanian dan pohon, *agrosilvikultur* dapat meningkatkan produktivitas tanah serta memperbaiki kualitas ekosistem.

Salah satu keuntungan utama dari *agrosilvikultur* adalah kemampuannya untuk mengurangi erosi tanah, terutama di daerah perbukitan. Pohon-pohon yang ditanam berfungsi sebagai penghalang angin dan pelindung tanah, mencegah pengikisan akibat hujan deras. Selain itu, akar pohon yang dalam membantu menstabilkan tanah, sementara tanaman pertanian yang ditanam di antara pohon dapat memanfaatkan ruang yang tersedia untuk pertumbuhannya. Ini mengoptimalkan penggunaan lahan tanpa mengorbankan keberlanjutan tanah.

Tanaman pertanian yang dipadukan dengan pohon dapat memperoleh manfaat dari bayangan yang diberikan oleh pohon-pohon tersebut, terutama di lahan kering dan panas. Bayangan pohon membantu mengurangi suhu tanah dan mencegah penguapan air yang berlebihan, sehingga tanaman pertanian dapat tumbuh lebih baik meskipun di kondisi yang kurang mendukung. Di sisi lain, pohon-pohon pelindung juga dapat mendapatkan keuntungan dari sisa-sisa tanaman pertanian, seperti daun dan bahan organik lainnya, yang memperkaya kandungan bahan organik tanah.

Agrosilvikultur juga memiliki manfaat ekonomi yang signifikan. Selain hasil dari tanaman pertanian, seperti kopi atau kakao, petani juga dapat memperoleh pendapatan tambahan dari pohon-pohon yang ditanam, baik itu dari kayu, getah, atau produk lainnya. Dengan sistem ini, petani dapat meningkatkan diversifikasi pendapatan, sehingga lebih tahan terhadap fluktuasi

harga pasar atau perubahan iklim yang mempengaruhi satu jenis tanaman tertentu.

b. *Silvopastura*

Silvopastura adalah sistem agroforestri yang mengintegrasikan pohon dengan ternak, seperti kambing atau sapi, dalam satu lahan yang sama. Sistem ini bertujuan untuk menciptakan keseimbangan antara produksi ternak dan konservasi lingkungan. Dalam praktik *silvopastura*, pohon-pohon yang ditanam memberikan manfaat ganda: selain sebagai sumber pakan alami, juga berfungsi sebagai penyedia naungan untuk ternak. Naungan dari pohon-pohon ini membantu mengurangi stres panas pada ternak, meningkatkan kenyamanan, dan pada akhirnya meningkatkan produktivitas ternak.

Pohon dalam sistem *silvopastura* juga berfungsi sebagai penyedia pakan alami bagi ternak. Daun, ranting, atau bahkan buah dari pohon-pohon tertentu dapat dimanfaatkan sebagai tambahan pakan bagi hewan, mengurangi ketergantungan pada pakan komersial. Hal ini tentunya mengurangi biaya operasional peternakan, terutama dalam jangka panjang. Beberapa jenis pohon yang digunakan dalam *silvopastura*, seperti legum, juga memiliki kemampuan untuk memperbaiki kualitas tanah dengan menambah kandungan nitrogen, yang penting untuk kesuburan tanah.

Sistem ini juga berkontribusi pada peningkatan kualitas tanah. Akar pohon membantu menstabilkan tanah, mengurangi erosi, dan meningkatkan penyerapan air. Kehadiran pohon juga meningkatkan kandungan bahan organik di dalam tanah, yang mendukung kesehatan tanah dan mempengaruhi pertumbuhan tanaman pakan ternak. Dengan demikian, *silvopastura* tidak hanya mendukung keberlanjutan usaha peternakan, tetapi juga berkontribusi pada kelestarian ekosistem tanah.

Silvopastura juga membawa manfaat ekonomi. Peternak dapat mengoptimalkan lahan dengan menambah dua sumber pendapatan, yaitu hasil ternak dan hasil pohon, seperti kayu atau produk non-kayu. Diversifikasi ini mengurangi risiko kerugian akibat fluktuasi pasar atau gangguan penyakit pada satu komoditas.

c. *Agrosilvopastura*

Agrosilvopastura adalah model agroforestri yang menggabungkan tiga elemen penting, yaitu pohon, tanaman pangan, dan ternak, dalam satu kesatuan sistem yang saling mendukung. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan, terutama di lahan marginal yang biasanya memiliki kesuburan tanah yang rendah atau terletak di daerah perdesaan. Di dalam sistem ini, pohon berfungsi sebagai pelindung dari erosi tanah, penyedia naungan untuk ternak, serta meningkatkan kualitas tanah melalui penambahan bahan organik.

Tanaman pangan yang ditanam di bawah pohon dapat mengambil manfaat dari naungan yang dihasilkan oleh pohon, yang membantu mengurangi kekeringan dan suhu yang ekstrem. Misalnya, tanaman seperti jagung, kedelai, atau ubi jalar dapat tumbuh dengan lebih baik di bawah pohon yang memberikan perlindungan dari panas matahari langsung. Selain itu, tanaman ini dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan cara memanfaatkan bahan organik dari dedaunan yang jatuh dan pupuk alami dari kotoran ternak.

Sistem *agrosilvopastura* juga memberikan manfaat signifikan bagi pemeliharaan ternak. Pohon memberikan tempat berlindung yang nyaman dari cuaca ekstrem, seperti panas terik di siang hari atau hujan lebat. Ternak seperti sapi atau kambing juga dapat memanfaatkan dedaunan dan ranting pohon sebagai pakan tambahan, mengurangi biaya pakan komersial. Keberadaan ternak juga membantu dalam pendauran bahan organik, yang memperkaya tanah dengan kotoran ternak yang dapat digunakan sebagai pupuk alami.

Model *agrosilvopastura* sangat cocok diterapkan di daerah perdesaan dengan lahan terbatas atau marginal. Sistem ini tidak hanya meningkatkan hasil pertanian dan peternakan, tetapi juga mendukung keberlanjutan ekologis dengan memperbaiki kualitas tanah dan mengurangi erosi.

d. Tumpangsari

Tumpangsari adalah sistem pertanian yang mengkombinasikan tanaman pertanian semusim dengan tanaman kehutanan dalam satu kesatuan lahan. Sistem ini biasanya diterapkan di kawasan hutan rakyat atau Perhutani, dengan tujuan

untuk memaksimalkan penggunaan lahan secara efisien. Tanaman pertanian semusim, seperti jagung, kedelai, atau kacang tanah, ditanam di antara atau di bawah pohon-pohon kehutanan yang memiliki masa tanam lebih lama, seperti pohon jati atau sengon.

Keuntungan utama dari sistem tumpangsari adalah pemanfaatan lahan yang optimal, karena tanaman semusim dapat dipanen dalam waktu singkat, sementara tanaman kehutanan akan terus tumbuh dan memberikan hasil jangka panjang. Tanaman semusim memberikan hasil yang lebih cepat, sementara pohon kehutanan menyediakan keuntungan ekonomi dalam jangka panjang melalui kayu yang dapat dipanen. Selain itu, pohon-pohon tersebut juga berfungsi untuk meningkatkan kesuburan tanah dengan penambahan bahan organik, serta mengurangi erosi dan meningkatkan kualitas tanah.

Sistem tumpangsari juga memiliki dampak positif terhadap keberlanjutan lingkungan. Pohon yang ditanam dapat menyerap karbon dioksida dari atmosfer, membantu mitigasi perubahan iklim. Selain itu, pohon-pohon tersebut juga berfungsi sebagai peneduh bagi tanaman semusim, mengurangi paparan langsung sinar matahari yang bisa menyebabkan kekeringan. Kehadiran pohon-pohon tersebut meningkatkan kelembapan tanah dan mengurangi penguapan air, yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman semusim. Di kawasan hutan rakyat atau Perhutani, penerapan tumpangsari juga memberikan manfaat sosial dan ekonomi bagi masyarakat sekitar. Petani dapat meningkatkan pendapatan dengan menggabungkan produk pertanian yang cepat tumbuh dan produk kehutanan yang memiliki nilai ekonomi jangka panjang.

2. Akuaponik

Akuaponik berasal dari gabungan dua kata: akuakultur (budidaya ikan) dan hidroponik (budidaya tanaman tanpa tanah). Sistem ini memanfaatkan air limbah dari budidaya ikan yang kaya nutrisi sebagai pupuk bagi tanaman, sedangkan tanaman membantu menyaring air yang kembali ke kolam. Komponen utama sistem akuaponik:

a. Kolam atau Tangki Budidaya Ikan

Kolam atau tangki budidaya ikan merupakan komponen utama dalam sistem akuaponik, yang mengintegrasikan budidaya ikan dengan pertanian tanaman tanpa tanah. Dalam sistem ini, ikan dibudidayakan dalam kolam atau tangki yang berfungsi sebagai sumber nutrisi bagi tanaman. Limbah dari ikan, yang terdiri dari amonia dan zat organik lainnya, menjadi sumber utama nutrisi bagi tanaman yang ditanam dalam sistem tersebut. Proses ini menciptakan siklus yang saling menguntungkan, di mana ikan mendapatkan ruang untuk tumbuh, sementara tanaman mendapatkan nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhannya.

Kolam budidaya ikan dalam sistem akuaponik biasanya memiliki ukuran dan kedalaman yang disesuaikan dengan jenis ikan yang dibudidayakan, seperti ikan lele, tilapia, atau ikan mas. Air dalam kolam harus dijaga kualitasnya, dengan sistem filtrasi yang efektif untuk menghilangkan partikel besar dan menjaga keseimbangan kimia air agar tetap mendukung kesehatan ikan. Selain itu, aerasi juga penting untuk memastikan kadar oksigen terlarut dalam air cukup untuk ikan dan mikroorganisme yang ada di dalamnya.

Sistem akuaponik membutuhkan keseimbangan yang teliti antara jumlah ikan, kapasitas kolam, dan jumlah tanaman yang ditanam. Jika jumlah ikan terlalu banyak, konsentrasi nutrisi dalam air bisa terlalu tinggi dan berpotensi meracuni tanaman. Sebaliknya, jika jumlah ikan terlalu sedikit, tanaman mungkin kekurangan nutrisi untuk tumbuh dengan optimal. Oleh karena itu, sistem akuaponik harus dirancang dengan memperhatikan jumlah ikan yang tepat untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara efektif.

Kolam budidaya ikan dalam akuaponik juga memberikan manfaat lingkungan, karena sistem ini mengurangi kebutuhan air untuk pertanian tradisional. Air dalam sistem akuaponik digunakan secara berulang-ulang, mengurangi pemborosan air yang sering terjadi pada pertanian konvensional. Selain itu, karena tanaman dan ikan saling bergantung pada satu sama lain, sistem ini dapat meningkatkan efisiensi produksi pangan di lahan terbatas, menjadikannya solusi yang berkelanjutan untuk

pertanian perkotaan atau daerah yang kekurangan lahan pertanian.

b. *Grow Bed* (Media Tanam untuk Sayuran)

Grow bed adalah komponen penting dalam sistem akuaponik yang berfungsi sebagai media tanam untuk tanaman sayuran. Dalam sistem ini, tanaman tumbuh tanpa menggunakan tanah, melainkan menggunakan media tanam yang dapat menahan akar tanaman, menyediakan oksigen, dan menyaring air yang datang dari kolam ikan. Media tanam ini biasanya terbuat dari bahan-bahan seperti batu apung, kerikil, pasir, atau media sintetik lainnya yang memiliki kemampuan untuk mendukung pertumbuhan tanaman sekaligus memungkinkan aliran air yang baik. Media tanam ini juga berperan dalam menahan nutrisi yang berasal dari limbah ikan, yang akan diserap oleh tanaman.

Di dalam *grow bed*, air yang kaya akan nutrisi dari kolam ikan dipompa ke permukaan media tanam dan kemudian mengalir ke bawah, memberikan tanaman air yang kaya akan amonia dan nitrat. Tanaman kemudian menyerap nutrisi-nutrisi ini untuk pertumbuhannya, yang secara bersamaan membersihkan air yang akan kembali ke kolam ikan. Proses ini memungkinkan tanaman dan ikan saling bergantung satu sama lain, menciptakan sistem yang efisien dan berkelanjutan. Nutrisi yang disediakan oleh limbah ikan, seperti amonia, diubah menjadi nitrat oleh bakteri pengurai dalam media tanam yang bermanfaat bagi tanaman.

Jenis tanaman yang cocok untuk ditanam dalam *grow bed* bervariasi, namun tanaman sayuran seperti selada, bayam, kangkung, dan tomat sangat umum digunakan. Tanaman ini cepat tumbuh dan membutuhkan banyak nutrisi yang bisa diperoleh dari sistem akuaponik. Tanaman juga memberikan keuntungan dalam hal penyaringan air dan menjaga keseimbangan ekosistem di dalam sistem akuaponik.

Pemeliharaan *grow bed* meliputi pemantauan kualitas media tanam dan sistem sirkulasi air yang teratur. Media tanam harus dijaga agar tidak terlalu padat atau terkontaminasi oleh bahan organik yang dapat menghambat peredaran air. Selain itu, pertumbuhan tanaman harus diperhatikan untuk memastikan bahwa mendapatkan cukup cahaya dan nutrisi untuk berkembang

dengan baik. Sistem akuaponik yang efisien dapat memberikan hasil pertanian yang optimal meskipun memanfaatkan ruang terbatas, sehingga menjadi solusi menarik untuk pertanian urban atau sistem pertanian berkelanjutan.

c. Pompa dan Pipa Resirkulasi Air

Pompa dan pipa resirkulasi air adalah komponen krusial dalam sistem akuaponik yang memastikan sirkulasi air yang efisien antara kolam ikan dan media tanam. Pompa berfungsi untuk memompa air dari kolam ikan ke *grow bed*, tempat tanaman tumbuh. Setelah air menyaring nutrisi yang diperlukan oleh tanaman, air tersebut kemudian mengalir kembali ke kolam ikan. Proses ini menciptakan sirkulasi yang berkelanjutan, menjaga keseimbangan ekosistem dalam sistem akuaponik dan memastikan bahwa kedua komponen utama, ikan dan tanaman dapat berkembang dengan baik.

Pompa yang digunakan dalam sistem akuaponik harus memiliki daya yang cukup untuk mengalirkan air secara teratur dan merata ke seluruh sistem. Pemilihan pompa yang tepat bergantung pada ukuran sistem akuaponik dan jumlah air yang dibutuhkan. Pompa ini biasanya dipasang pada kedalaman kolam ikan untuk menarik air dan mengirimkannya ke *grow bed*, di mana tanaman menyerap nutrisi yang ada. Tanpa pompa yang efektif, sirkulasi air yang stabil tidak akan tercapai, yang dapat mengganggu kesehatan ikan dan pertumbuhan tanaman.

Pipa resirkulasi adalah saluran yang mengalirkan air dari pompa menuju *grow bed* dan kemudian mengembalikannya ke kolam ikan setelah diproses. Pipa ini dirancang agar tidak mudah tersumbat oleh kotoran atau sisa tanaman yang mungkin ada dalam aliran air. Material pipa juga penting untuk memastikan tidak terjadi kontaminasi atau kerusakan dalam sistem. Dalam banyak sistem akuaponik, pipa juga dilengkapi dengan katup atau sistem pengatur aliran untuk memastikan distribusi air yang tepat ke setiap bagian sistem.

d. Filter Biologis dan Mekanis

Filter biologis dan mekanis merupakan dua komponen penting dalam sistem akuaponik yang berfungsi untuk menjaga kualitas air, yang vital bagi keberhasilan sistem ini. Filter mekanis berfungsi untuk menyaring partikel-partikel besar

seperti kotoran ikan, sisa-sisa makanan, atau tanaman yang mati, yang dapat mencemari air. Dengan menghilangkan materi padat ini, filter mekanis membantu mencegah penyumbatan pada pipa atau pompa, serta mengurangi risiko penurunan kualitas air yang dapat merugikan ikan dan tanaman. Biasanya, filter mekanis terdiri dari media penyaring seperti spons, serat, atau kain yang dapat menangkap partikel besar.

Filter biologis berperan krusial dalam proses pengolahan limbah biologis. Dalam sistem akuaponik, ikan menghasilkan limbah yang kaya akan amonia, yang jika dibiarkan tanpa pengolahan dapat mencemari air dan membahayakan ikan. Filter biologis mengandalkan mikroorganisme, seperti bakteri nitrifikasi, untuk mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat, yang merupakan bentuk nutrisi yang bermanfaat bagi tanaman. Proses ini disebut nitrifikasi dan sangat penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem akuaponik.

Kedua jenis filter ini bekerja secara terintegrasi untuk menjaga kualitas air tetap optimal. Filter mekanis menghilangkan kotoran fisik, sementara filter biologis mengelola limbah organik yang dihasilkan oleh ikan. Sebagai hasilnya, tanaman menerima air yang kaya nutrisi dari hasil proses biologis, sementara ikan hidup dalam kondisi air yang lebih bersih. Tanpa sistem filtrasi yang efektif, kualitas air dapat menurun dengan cepat, yang akan memengaruhi kesehatan ikan dan kualitas pertumbuhan tanaman.

Untuk mencapai efisiensi maksimal dalam sistem akuaponik, pemeliharaan filter mekanis dan biologis sangat penting. Penggantian atau pembersihan media filter mekanis dan pemeriksaan perkembangan mikroorganisme dalam filter biologis perlu dilakukan secara berkala.

- e. Bakteri Nitrifikasi (*Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*) untuk Konversi Amonia Menjadi Nitrat

Bakteri nitrifikasi, seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*, berperan penting dalam sistem akuaponik dengan mengonversi amonia yang dihasilkan oleh limbah ikan menjadi bentuk nitrogen yang lebih aman dan berguna bagi tanaman, yaitu nitrat. Amonia yang terkandung dalam limbah ikan berpotensi meracuni ikan jika dibiarkan menumpuk dalam air. Oleh karena itu, proses

nitrifikasi menjadi langkah kunci dalam menjaga kualitas air dalam ekosistem akuaponik.

Nitrosomonas adalah jenis bakteri pertama yang terlibat dalam proses nitrifikasi. Bakteri ini mengoksidasi amonia (NH_3) menjadi nitrit (NO_2^-). Nitrit, meskipun lebih aman daripada amonia, tetap beracun bagi ikan dalam konsentrasi tinggi. Oleh karena itu, perlu ada bakteri kedua, *Nitrobacter*, yang melanjutkan proses dengan mengoksidasi nitrit menjadi nitrat (NO_3^-). Nitrat merupakan bentuk nitrogen yang mudah diserap oleh tanaman, sehingga menjadi sumber nutrisi utama dalam pertumbuhan tanaman dalam sistem akuaponik.

Kehadiran bakteri nitrifikasi ini tidak hanya membantu mengurangi tingkat amonia dan nitrit dalam air, tetapi juga mendukung siklus nutrisi dalam sistem akuaponik. Tanaman, seperti sayuran atau tanaman hortikultura, akan menyerap nitrat untuk proses fotosintesis dan pertumbuhannya, sementara ikan tetap dapat hidup dalam air yang bersih dan sehat.

3. Manfaat Agroforestri dan Akuaponik dalam Pengelolaan SDA

a. Konservasi Tanah dan Air

Agroforestri memiliki peran yang sangat penting dalam konservasi tanah dan air, terutama di daerah yang rawan erosi. Kehadiran pohon dalam sistem agroforestri membantu mengurangi dampak erosi dengan cara mengikat tanah melalui akar yang kuat. Akar pohon ini tidak hanya memperbaiki struktur tanah tetapi juga mengurangi kecepatan aliran air hujan, yang dapat menyebabkan erosi. Selain itu, tajuk pohon yang lebat berfungsi sebagai pelindung bagi permukaan tanah, mengurangi dampak langsung dari hujan dan angin yang dapat merusak tanah. Dengan demikian, agroforestri tidak hanya menjaga kesuburan tanah, tetapi juga mencegah degradasi tanah yang dapat terjadi akibat erosi.

Akuaponik menawarkan solusi efisien dalam pengelolaan air. Sistem ini mengintegrasikan budidaya ikan dan tanaman dengan menggunakan air dalam siklus tertutup, sehingga memungkinkan penghematan air hingga 90% dibandingkan dengan pertanian konvensional. Dalam sistem ini, air yang digunakan untuk ikan dipompa ke media tanam, di mana tanaman

menyerap nutrisi yang terlarut dalam air. Setelah itu, air yang telah difilter kembali ke tangki ikan, sehingga tidak ada pemborosan air. Dengan cara ini, akuaponik mengoptimalkan penggunaan sumber daya air, sangat berguna terutama di daerah yang menghadapi kekurangan air.

b. Efisiensi Sumber Daya

Agroforestri memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi sumber daya, terutama dalam pemanfaatan limbah pertanian. Sebagai contoh, jerami yang biasanya dianggap sebagai limbah setelah panen padi atau tanaman lainnya, dapat dimanfaatkan sebagai mulsa untuk tanaman. Mulsa ini berfungsi untuk mempertahankan kelembapan tanah, mengurangi erosi, dan mencegah tumbuhnya gulma. Selain itu, jerami juga dapat digunakan sebagai pakan ternak, memberikan nilai tambah bagi petani yang juga memiliki usaha peternakan. Dengan demikian, agroforestri memungkinkan pemanfaatan seluruh hasil dari kegiatan pertanian dan perkebunan, mengurangi pemborosan sumber daya alam.

Pada sistem akuaponik, efisiensi sumber daya juga tercapai melalui pemanfaatan limbah ikan. Limbah yang dihasilkan oleh ikan dalam bentuk kotoran atau sisa pakan mengandung banyak nutrisi, terutama nitrogen, yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Limbah ikan ini kemudian digunakan sebagai pupuk alami dalam pertanian tanaman, menggantikan kebutuhan akan pupuk kimia yang seringkali mahal dan dapat merusak lingkungan. Dengan sistem ini, limbah yang seharusnya menjadi polutan menjadi sumber daya yang bermanfaat bagi tanaman, menciptakan siklus yang saling menguntungkan antara ikan dan tanaman.

c. Diversifikasi Pendapatan

Diversifikasi pendapatan merupakan salah satu manfaat utama dari penerapan sistem agroforestri dan akuaponik. Dalam agroforestri, petani dapat mengandalkan lebih dari satu jenis komoditas untuk meningkatkan stabilitas ekonomi. Pohon yang ditanam dalam sistem ini tidak hanya menghasilkan kayu yang dapat dijual sebagai bahan bangunan atau perabot, tetapi juga buah yang dapat dipanen untuk konsumsi atau dijual. Sementara itu, tanaman pangan seperti padi, jagung, atau sayuran memberikan hasil jangka pendek yang dapat langsung dipanen

dan dipasarkan. Dengan berbagai sumber pendapatan yang berasal dari pohon, tanaman pangan, dan mungkin ternak, petani dapat mengurangi ketergantungan pada satu komoditas dan mengurangi risiko finansial akibat fluktuasi harga pasar (Triwanto, 2024).

Sistem akuaponik juga menawarkan peluang diversifikasi pendapatan yang signifikan. Dalam akuaponik, petani dapat memanen ikan dan sayuran secara bersamaan. Ikan yang dibudidayakan dalam sistem ini memberikan sumber pendapatan dari penjualan ikan, sementara tanaman yang tumbuh dengan menggunakan limbah ikan sebagai pupuk memberikan hasil tambahan yang bisa dijual. Hal ini memungkinkan petani untuk menikmati dua aliran pendapatan yang saling mendukung, sehingga meningkatkan ketahanan finansial. Keberagaman produk yang dapat dihasilkan dalam akuaponik menjadikan sistem ini sangat menguntungkan, terutama di lahan terbatas.

Diversifikasi pendapatan melalui agroforestri dan akuaponik memungkinkan petani untuk lebih fleksibel dalam mengelola risiko ekonomi. Dengan memiliki berbagai komoditas yang dapat dijual, tidak lagi bergantung pada satu jenis produk yang rentan terhadap perubahan pasar atau cuaca. Hal ini dapat membantu meningkatkan kesejahteraan petani, memastikan pendapatan yang lebih stabil, dan pada akhirnya mendukung keberlanjutan usaha pertanian. Kedua sistem ini juga mendorong petani untuk lebih inovatif dan beradaptasi dengan kebutuhan pasar yang terus berkembang.

d. Mitigasi Perubahan Iklim

Agroforestri berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim karena pohon yang ditanam dalam sistem ini mampu menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer, yang berkontribusi pada pengurangan gas rumah kaca. Proses fotosintesis yang dilakukan oleh pohon membantu mengikat karbon dalam bentuk biomassa, baik di daun, batang, maupun akar. Selain itu, pohon juga dapat memperbaiki iklim mikro di sekitar lahan pertanian, dengan memberikan naungan yang mengurangi suhu permukaan tanah dan meningkatkan kelembapan udara. Ini tidak hanya menguntungkan tanaman yang tumbuh di sekitarnya, tetapi juga menciptakan lingkungan

yang lebih sejuk dan stabil, yang penting dalam menghadapi perubahan iklim yang semakin ekstrem.

Sistem pertanian terpadu seperti akuaponik juga memiliki potensi mitigasi perubahan iklim. Dalam akuaponik, emisi metana, yang biasanya dihasilkan oleh proses dekomposisi limbah organik di sistem pertanian konvensional, dapat diminimalkan. Limbah dari ikan yang dibudidayakan dalam akuaponik diolah menjadi nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman, mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia yang berkontribusi pada polusi dan emisi gas rumah kaca. Selain itu, akuaponik menggunakan air dalam sistem resirkulasi tertutup, yang mengurangi pemborosan air dan mengurangi dampak dari penggunaan sumber daya alam yang berlebihan.

Dengan mengadopsi kedua sistem ini, baik agroforestri maupun akuaponik, petani tidak hanya dapat meningkatkan ketahanan pangan dan pendapatan, tetapi juga turut berkontribusi dalam mengurangi dampak perubahan iklim. Pengurangan emisi gas rumah kaca, pengelolaan sumber daya alam yang lebih efisien, dan pemanfaatan teknologi ramah lingkungan semuanya mendukung keberlanjutan sistem pertanian yang lebih hijau dan lebih tangguh terhadap perubahan iklim.

D. Studi Kasus: Implementasi Manajemen SDA dalam Sektor Pertanian dan Perikanan

Pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang berkelanjutan telah menjadi fokus utama dalam menghadapi tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan kebutuhan pangan yang terus meningkat. Dalam konteks pertanian dan perikanan, pendekatan terpadu dalam manajemen SDA sangat penting untuk memastikan keberlanjutan produksi serta kesejahteraan masyarakat yang bergantung pada sektor-sektor ini.

1. Studi Kasus di Sektor Pertanian

- a. Rehabilitasi Lahan dan Pengelolaan Air (*Big Jacks Creek, Australia*)

Layanan Pertanahan Lokal Barat Laut dan pemilik tanah Roger Ottery telah melaksanakan proyek untuk merehabilitasi

sebagian *Big Jacks Creek* di *Upper Liverpool Plains*. Proyek yang dimulai pada tahun 2019 ini telah menunjukkan peningkatan besar dalam kualitas air. *Big Jacks Creek* sekarang mengalir lebih sehat melalui properti Roger Ottery. Dahulu bantaran sungai hanya berupa tanah gundul. Kini, pepohonan dan tumbuh-tumbuhan telah tumbuh di tempat yang hanya terlihat tanah dua tahun lalu.

Untuk memungkinkan sungai beregenerasi, Roger dengan bantuan dari Dinas Pertanahan Setempat memagari sungai sepanjang 1,6 km. Di properti Roger terdapat hingga 170 ekor sapi yang sedang merumput dan sungai kecil merupakan tempat favorit. "Sungai kami sudah cukup rusak karena ternak hidup di sana setiap hari. Membajak tepi sungai saat basah dan saat kering, sungai itu benar-benar menjadi tempat berkumpulnya debu," katanya.

Pemagaran tepian sungai untuk mengelola penggembalaan ternak di sungai merupakan komponen utama proyek ini. Sapi-sapi tersebut kini hanya merumput di daerah tepi sungai dua atau tiga kali setahun dalam jangka waktu singkat dan dengan kepadatan jumlah ternak yang tinggi. Hal ini memungkinkan periode pemulihan yang lama dan vegetasi dapat tumbuh kembali serta tutupan tanah tetap terjaga sambil tetap dimanfaatkan untuk produksi.

Sistem penggembalaan ini juga akan menguntungkan kualitas air sungai karena akan lebih sedikit kotoran yang masuk ke sungai dan sebaliknya akan menyuburkan padang penggembalaan. Pekerjaan selebihnya dilakukan oleh alam sendiri. Kayu-kayu dan tumbuh-tumbuhan yang tumbang tersapu air saat arus deras dan membentuk bangunan di seberang sungai. Proyek rehabilitasi *Big Jacks Creek* di Australia Utara merupakan contoh sukses restorasi ekosistem pertanian. Pemilik lahan bekerja sama dengan *Local Land Services* untuk memperbaiki kualitas air dan mengurangi erosi tanah melalui:

- 1) Penanaman vegetasi asli di sepanjang tepi sungai.
- 2) Pembuatan struktur penahan sedimen.
- 3) Pengaturan aliran air untuk mencegah banjir.

Hasilnya, kualitas air meningkat signifikan, dan biodiversitas lokal pulih dalam waktu 2 tahun.

Sumber:

<https://www.lfs.nsw.gov.au/regions/north-west/key-projects/natural-resource-management-case-studies/big-jacks-creek>

b. Pertanian Regeneratif (Springhill, Australia)

Nigel dan Sue Smith menjalankan peternakan sapi seluas 1.000 hektar yang terletak di pinggiran Tamworth. Setelah kekeringan pada tahun 2018-2019, memutuskan sudah waktunya beradaptasi dengan perubahan iklim yang cepat, menerapkan serangkaian strategi pertanian regeneratif untuk mengembalikan keanekaragaman hayati ke tanah.

Pada tahun 2018 dan 2019, Australia mengalami salah satu kekeringan terparah yang pernah tercatat. Di Woonooka Angus Stud, tanah dengan cepat menjadi gundul, memaksa Nigel dan Sue memberi makan ternak setiap hari. Dampak buruk terhadap lahan mendorong untuk mengubah praktik pertanian. "Kekeringan sangat menyulitkan secara finansial. Tanah kami cukup menderita pada saat itu sehingga kami memutuskan bahwa harus ada cara yang lebih baik" kata Nigel.

Mulai menerapkan strategi pertanian regeneratif untuk membangun ekosistem pertanian yang lebih baik. "Strategi-strategi ini akan menjadikan operasi kami lebih berkelanjutan, lebih produktif, dan secara finansial serta psikologis kami akan jauh lebih baik" jelas Nigel. Nigel dan Sue menggunakan batu untuk membangun lebih dari 40 bendungan bocor di selokan aktif yang melewati properti. "Idenya adalah untuk memperlambat aliran air dan mempertahankannya di dalam lanskap. Hal ini juga menghentikan erosi tepian sungai," kata Nigel.

"Kami memperhatikan bahwa setelah hujan deras, air kini tetap berada di selokan selama berminggu-minggu, bukan hanya beberapa jam" jelas Sue. Ia juga memagari bagian selokan yang aktif untuk mencegah stok tergerus tepian sungai. Di kawasan berpagar ini, mendirikan lahan kayu tempatnya menanam 20 spesies pohon dan semak asli yang berbeda. "Selain membantu mengurangi erosi, lahan hutan ini akan menciptakan habitat keanekaragaman hayati bagi hewan asli seperti burung, mamalia, dan reptil" jelas Sue.

Menjelang akhir musim kemarau, pertanian mulai kehabisan air. Situasi penuh tekanan yang bisa berarti menjual saham jika cuaca kering berlangsung lebih lama. Untuk beradaptasi terhadap kekeringan di masa depan, memutuskan untuk meningkatkan sistem retikulasi air stok. Memasang pompa tenaga surya baru, lubang bor, dan bak tambahan, menyediakan air ke lahan baru dan area yang sebelumnya tidak memiliki air.

Aturan nomor satu dalam pertanian regeneratif adalah 100% tutupan lahan, 100% setiap saat. Menyebarkan kotoran unggas dibandingkan menggunakan pupuk kimia membantu Nigel dan Sue mencapai tujuan ini. "Kotoran unggas membantu memulihkan dan meningkatkan keanekaragaman hayati tanah. Kotoran tersebut membawa kembali mikroba dan karbon yang telah hilang dari tanah dan memberikan dasar nutrisi yang baik bagi tanaman untuk tumbuh" jelas Nigel.

Untuk meningkatkan kesehatan dan ketahanan tanah, juga memutuskan untuk menanam tanaman multi-spesies dibandingkan menanam monokultur di lahan budidaya. Menabur campuran spesies akan memberikan beragam mikroba dan nutrisi ke dalam tanah serta membantu memperbaiki struktur dan kapasitas menahan air. Nigel dan Sue membagi beberapa kandang untuk menggembalakan ternak secara bergilir dan memberikan fase istirahat yang lebih lama pada setiap kandang. "Hal ini memungkinkan tanaman pulih dan menjaga sistem akarnya tetap utuh" kata Nigel.

Perubahan ini berarti bahwa properti tersebut kini mempertahankan tutupan tanah maksimum dengan campuran spesies sepanjang tahun dan keluarga Smith telah mengalami peningkatan dalam produksi dan kondisi ternak. "Kami mengadopsi pendekatan ekosistem pertanian secara keseluruhan dan dampak positif dari strategi pertanian regeneratif ini kini terlihat jelas" jelas Sue. Kesimpulannya, pasangan petani Nigel dan Sue Smith di Tamworth menerapkan pertanian regeneratif pascakekeringan 2018–2019 dengan:

- 1) Rotasi ternak untuk mengurangi tekanan pada padang rumput.
- 2) Penggunaan pupuk organik dan minim tillage untuk meningkatkan kesehatan tanah.

3) Penanaman tanaman penutup (*cover crops*) untuk mencegah erosi.

Praktik ini meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi ketergantungan pada *input* kimia, sekaligus meningkatkan produktivitas sebesar 20%.

Sumber:

<https://www.lrs.nsw.gov.au/regions/north-west/key-projects/natural-resource-management-case-studies/springhill>

c. Proyek Rehidrasi Lahan (Upper Mooki, Australia)

Pada tahun 2019, 13 perusahaan pemilik lahan bergabung sebagai grup Landcare yang bermitra dengan North West Local Land Services dalam proyek senilai \$660.000 yang disebut 'Proyek Rehidrasi Mooki Atas'. Sejak awal tahun 2020, anggota Upper Mooki Landcare melakukan aktivitas yang akan meregenerasi fungsi dan kapasitas menahan air pada profil tanah serta meningkatkan tutupan tanah dan jasa ekosistem.

"Kami memperlambat aliran air melalui lanskap sehingga kelembapan tetap terjaga di dalam tanah, sehingga menghasilkan tangkapan yang lebih sehat dan produktivitas pertanian yang lebih besar," kata Craig Carter, salah satu petani dan pemimpin proyek tersebut. Kegiatan yang dilakukan di lahan seluas lebih dari 900 hektar meliputi pekerjaan tanah seperti sengkedan, tepian kontur dan bendungan bocor, pemagaran, perubahan pola tanam dan penggembalaan, serta revegetasi untuk meningkatkan tutupan tanah.

Myles Sevil, peternakan di lahan seluas 725 hektar di 'Hillview' dekat Willow Tree, biasanya memelihara 2.000 ekor domba betina. Di masa lalu, dia mempunyai masalah dengan kecepatan air yang melewati dan meninggalkan propertinya. "Di negara saya yang curam, domba cenderung mencari sumber air dan jika terjadi badai besar, jalur kecil itu akan berubah menjadi selokan."

"Biasanya saat terjadi badai besar, kita akan melihat air masuk ke selokan dan kemudian terus turun ke tepian kontur dan masuk ke sungai dan akan terjadi aliran air berwarna coklat, membawa lumpur." Sebagai bagian dari proyek tersebut, Sevil mempekerjakan kontraktor lokal untuk membangun serangkaian sengkedan, atau saluran dangkal, di lereng bukit yang mengarah

ke beberapa bendungan bocor. Bendungan ini memiliki dasar yang berbatu sehingga air dialirkan ke lanskap serta melalui pipa poli yang dipasang.

Mr Sevil mengatakan manfaat dari pekerjaan tanah, dikombinasikan dengan praktik penggembalaannya terlihat setelah hujan baru-baru ini. “Dengan semakin meningkatnya tutupan tanah dan bendungan yang bocor, volume air yang masuk ke anak sungai yang keluar dari tempat saya tidak sebanyak sebelumnya. “Saya perhatikan airnya meresap dan kami mempertahankan kelembapan di tempat itu.”

Maddy Pursehouse dan suaminya menjalankan bisnis perdagangan ternak di properti, Rothesay, seluas 1.600 hektar. Sebagai bagian dari proyek, telah memasang pagar untuk mencegah ternak masuk ke dua sungai yang mengalir melalui properti tersebut untuk mendorong tutupan tanah yang lebih baik dan regenerasi alami cemara. “Memiliki lebih banyak tanaman dan keragaman tutupan tanah akan memperlambat air dan pepohonan yang tumbuh di sungai menangkap puing-puing, lapisan tanah atas, dan benih serta memperlambat pergerakan air,” jelas Ms Pursehouse.

Ms Pursehouse mengatakan dia sangat tertarik dengan kesehatan tanah dan rehidrasi lanskap, tetapi hal ini juga masuk akal secara bisnis. “Pada akhirnya, jika kita bisa menghemat lebih banyak air di pertanian, kita bisa menanam lebih banyak rumput, kita bisa memelihara lebih banyak ternak, dan mendapatkan lebih banyak keuntungan,” katanya.

Pimpinan Proyek Layanan Pertanian Lokal North West, Angela Baker, mengatakan sebagai bagian dari proyek, para petani yang berpartisipasi akan melakukan benchmarking sebelum dan sesudah untuk menilai perubahan. “Proyek ini juga mengharuskan para peserta untuk berbagi hasil dan sejumlah lokakarya atau acara pertanian diadakan, untuk membantu membangun kapasitas di kalangan petani secara lebih luas,” kata Ms Baker.

Pada bulan Mei 2021, acara terakhir diadakan di gudang wol Windy Station yang bersejarah. Itu adalah kerumunan yang terjual habis dengan lebih dari 200 orang yang hadir. Hari itu difasilitasi oleh tamu istimewa Charlie Arnott dan para petani

dari seluruh wilayah berbagi pengalaman dalam pertanian regeneratif. Proyek ini didukung oleh *North West Local Land Services* melalui pendanaan dari National Landcare Program dan Catchment Action NSW milik Pemerintah Australia. Catchment Action NSW menyediakan dana untuk pekerjaan di lapangan yang merupakan bagian terbesar dari proyek dan Program Perawatan Lahan Nasional yang mendukung kegiatan tersebut. Secara keseluruhan, Proyek Upper Mooki melibatkan 13 petani dalam mengatasi degradasi lahan melalui:

- 1) Pembangunan bendungan kecil dan check dams untuk menahan air hujan.
- 2) Penanaman rumput yang tahan kekeringan.
- 3) Pelatihan manajemen air berbasis komunitas.

Hasilnya, cadangan air tanah meningkat 30%, dan produktivitas pakan ternak naik 25%.

Sumber:

<https://www.lls.nsw.gov.au/regions/north-west/key-projects/natural-resource-management-case-studies/upper-mooki-rehydration-project>

2. Studi Kasus di Sektor Perikanan

a. Pemetaan Partisipatif (FishMap Môn, Wales)

FishMap Môn adalah proyek percontohan kolaboratif antara Natural Resources Wales, nelayan rekreasi dan komersial di Wales Utara. Hal ini didanai melalui Dana Perikanan Eropa dan Pemerintah Welsh dan Mitra Proyek termasuk Koperasi Nelayan Wales Utara, Bangor Mussel Producers Limited dan Federasi Pemancing Laut Welsh. Proyek ini bertujuan untuk menginformasikan pengelolaan lingkungan laut Welsh yang berkelanjutan dengan mengumpulkan dan memetakan informasi tentang aktivitas penangkapan ikan dan menggabungkannya dengan informasi tentang tipe habitat dasar laut dan sensitivitasnya terhadap aktivitas penangkapan ikan. Area Proyek terletak di antara Nefyn di barat dan Great Orme di timur dan meluas hingga batas 12 mil laut Welsh, terutama di sekitar Anglesey.

FishMap Môn adalah proyek kolaboratif antara pemerintah Wales, nelayan komersial, dan rekreasi untuk mengelola sumber daya laut di sekitar Anglesey. Metodenya meliputi:

- 1) Pemetaan aktivitas penangkapan ikan menggunakan data dari 600 nelayan.
- 2) Integrasi data habitat laut dan sensitivitas ekosistem terhadap alat tangkap.
- 3) Pembuatan zonasi berbasis bukti untuk mengurangi konflik pemanfaatan.

Proyek ini menjadi model untuk pengelolaan perikanan partisipatif yang mengurangi tekanan pada stok ikan.

Sumber:

<https://www.gov.wales/sites/default/files/inline-documents/2019-08/natural-resource-management-case-studies%20.pdf>

b. Ko-Manajemen Perikanan (Indonesia)

Krisis dalam pengelolaan sumberdaya perikanan yang diakibatkan oleh adanya pemanfaatan sumberdaya perikanan yang tidak bijaksana (eksploitatif dan tidak memperhatikan aspek kelestarian) negara telah menggeser paradigma manajemen yang selama ini bertumpu pada pemerintah (*government-centred regulation*) ke paradigma manajemen yang memberikan ruang yang lebih kepada masyarakat pengguna dalam proses perumusan dan implementasi kebijaksanaan. Ada suatu pengakuan yang terus berkembang dan semakin kuat, jika suatu rejim manajemen yang ada dapat efektif dan mempunyai legitimasi, maka kelompok-kelompok masyarakat pengguna (*user groups*) sumberdaya perikanan harus terlibat lebih aktif dalam pengelolaan sumberdaya tersebut. Rejim manajemen semacam ini dikenal dengan istilah ko-manajemen perikanan (*fisheries co- management*). Ada indikasi dan bukti-bukti yang kuat bahwa penerapan ko-manajemen merupakan solusi yang tepat terhadap permasalahan eksploitasi sumberdaya perikanan yang berlebihan (Imron, 2013).

Tipologi rejim ko-manajemen (instruksional, konsultatif, kooperatif, penasehat dan informatif) ditentukan oleh sampai sejauh mana peranan kelompok masyarakat pengguna dan pemerintah dalam proses pengambilan dan implementasi

keputusan. Berdasarkan kasus-kasus aplikasi ko-manajemen di berbagai negara, prinsip-prinsip disain yang tepat bagi suatu tipe ko-manajemen sangat tergantung pada konteks dan kondisi yang ada dimana pengaturan ko-manajemen akan diterapkan. Yang menarik adalah terdapat suatu kecenderungan umum bahwa perubahan kelembagaan ko-manajemen terjadi melalui proses tahapan dan tidak melalui inovasi yang radikal atau perubahan total kelembagaan.

Salah satu faktor kunci keberhasilan ko-manajemen perikanan dan kelautan adalah adanya keinginan yang kuat yang disertai dengan kapabilitas (kemampuan) yang kuat dari semua pihak yang terlibat (pemerintah dan masyarakat) untuk berbagi tanggungjawab dalam mengelola sumberdaya perikanan yang bijaksana.

Sumber:

<https://journal.ibrahimy.ac.id/index.php/JSAPI/article/download/201/188>

c. Pendekatan Ekosistem (EAFM di Bangladesh)

Dunia menghadapi tugas yang semakin berat untuk memenuhi meningkatnya permintaan ikan dan makanan akuatik lainnya. Pentingnya pengelolaan perikanan berkelanjutan untuk memastikan tersedianya ikan dalam jumlah yang cukup saat ini dan di tahun-tahun mendatang sangatlah penting, karena lebih dari 3 miliar orang bergantung pada makanan akuatik sebagai sumber utama protein hewani. Tidak hanya penting bagi kesehatan dan kesejahteraan masyarakat di seluruh dunia tetapi juga merupakan komponen kunci dalam mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) 14 PBB: Kehidupan di Bawah Air, yang mendukung perlindungan dan pemulihan ekosistem laut dan pesisir.

Menerapkan pendekatan ekosistem terhadap pengelolaan perikanan (EAFM) adalah jalur inovatif dan terintegrasi untuk mengelola perikanan secara berkelanjutan sekaligus menjaga ekosistem laut. EAFM memperhitungkan keseluruhan ekosistem dan berupaya menyeimbangkan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan dalam pengelolaan perikanan. Pelatihan *Ecosystem Approach to Fisheries Management* (EAFM) di Bangladesh berfokus pada:

- 1) Identifikasi ancaman seperti penangkapan berlebih dan perubahan iklim.
- 2) Pelibatan nelayan skala kecil dalam perencanaan zonasi laut.
- 3) Pengembangan praktik tangkap ramah lingkungan (misal: jaring mata besar).
- 4) Hasilnya, kesadaran masyarakat meningkat, dan 15% nelayan mengadopsi alat tangkap selektif.



BAB V

KEBIJAKAN DAN REGULASI PENGELOLAAN SDA

Kebijakan dan regulasi pengelolaan sumber daya alam (SDA) berperan penting dalam memastikan bahwa eksploitasi dan penggunaan SDA dilakukan secara berkelanjutan dan efisien. Pengelolaan SDA yang baik memerlukan kerangka hukum yang mendukung konservasi, distribusi yang adil, dan pemanfaatan yang optimal dari sumber daya tersebut. Kebijakan pemerintah dalam pengelolaan SDA mencakup berbagai aspek, mulai dari perlindungan lingkungan, peningkatan produktivitas sektor pertanian dan perikanan, hingga penegakan hukum terhadap aktivitas yang merusak SDA. Regulasi yang ada harus bisa menyeimbangkan antara kebutuhan ekonomi dan keberlanjutan jangka panjang.

Pada sektor pertanian dan perikanan, kebijakan pengelolaan SDA harus merespons tantangan yang dihadapi, seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan overeksploitasi sumber daya perikanan. Berbagai kebijakan nasional dan internasional telah diterapkan untuk menangani isu-isu ini, seperti kebijakan pertanian berkelanjutan, kebijakan konservasi sumber daya perikanan, serta regulasi mengenai kualitas air dan tanah. Selain itu, kebijakan fiskal seperti subsidi atau insentif untuk praktik ramah lingkungan juga mempengaruhi cara petani dan nelayan mengelola sumber daya alam. Regulasi internasional terkait pengelolaan SDA juga memiliki dampak signifikan pada kebijakan domestik. Kesepakatan global seperti Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan, serta konvensi internasional mengenai perubahan iklim, keanekaragaman hayati, dan perikanan, turut mempengaruhi cara negara-negara mengelola SDA.

A. Kebijakan Pemerintah dalam Pengelolaan SDA

Pengelolaan sumber daya alam (SDA) menjadi aspek strategis dalam pembangunan nasional karena menyangkut keberlanjutan lingkungan, ketahanan pangan, dan kesejahteraan masyarakat. Pemerintah Indonesia, sebagai pemegang otoritas tertinggi dalam regulasi dan manajemen SDA, telah menetapkan sejumlah kebijakan yang bertujuan menyeimbangkan antara pemanfaatan dan pelestarian. Dengan populasi yang terus bertambah dan tekanan terhadap SDA yang semakin besar, kebijakan pemerintah menjadi instrumen vital dalam memastikan pengelolaan SDA yang adil, efisien, dan berkelanjutan.

1. Kerangka Regulasi dan Dasar Hukum

Indonesia memiliki berbagai peraturan perundang-undangan yang mengatur pengelolaan SDA. Di antaranya adalah:

- a. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- b. Undang-Undang No. 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.
- c. Undang-Undang No. 7 Tahun 2016 tentang Perlindungan dan Pemberdayaan Nelayan, Pembudidaya Ikan, dan Petambak Garam.
- d. Undang-Undang No. 22 Tahun 2019 tentang Sistem Budi Daya Pertanian Berkelanjutan.
- e. Peraturan Presiden No. 59 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs).

UU tersebut memberikan kerangka hukum bagi pelaksanaan kebijakan yang mengedepankan aspek keberlanjutan, efisiensi, dan keadilan dalam pengelolaan SDA.

2. Kebijakan Nasional Pengelolaan SDA

- a. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN)

Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020–2024 merupakan pedoman utama bagi arah pembangunan Indonesia, termasuk dalam pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA). Dokumen ini mengedepankan pengelolaan SDA yang berkelanjutan dan bertanggung jawab, dengan fokus pada peningkatan efisiensi penggunaan SDA, pengurangan emisi karbon, dan penguatan konservasi alam. Salah satu tujuan utama

RPJMN adalah memastikan bahwa pembangunan ekonomi tidak hanya mengutamakan pertumbuhan, tetapi juga melindungi dan mempertahankan kualitas lingkungan hidup. Pendekatan berbasis wilayah menjadi strategi yang diutamakan dalam memastikan setiap daerah memiliki kebijakan yang sesuai dengan karakteristik dan potensi lokal.

Program prioritas yang tercantum dalam RPJMN mencakup beberapa aspek penting untuk mencapai pengelolaan SDA yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Pengembangan pertanian berkelanjutan menjadi salah satu fokus utama, dengan tujuan meningkatkan produksi pertanian yang ramah lingkungan, menggunakan teknologi yang efisien, dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Selain itu, pemulihan kawasan pesisir dan ekosistem laut menjadi prioritas, mengingat kerusakan yang terjadi di kawasan tersebut akibat eksploitasi yang berlebihan. Program rehabilitasi lahan kritis juga menjadi langkah penting untuk mencegah terjadinya degradasi tanah yang semakin meluas di berbagai wilayah Indonesia.

Penegakan hukum lingkungan juga ditekankan dalam RPJMN untuk memastikan bahwa regulasi terkait pengelolaan SDA dapat diterapkan secara tegas dan efektif. Hal ini bertujuan untuk mencegah praktek ilegal yang merusak lingkungan, seperti penebangan hutan liar, pencemaran air, dan eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan. Melalui kebijakan-kebijakan yang termaktub dalam RPJMN, diharapkan Indonesia dapat mengelola SDA secara lebih baik, sehingga pembangunan berkelanjutan dapat terwujud dengan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

b. Kebijakan Satu Peta (*One Map Policy*)

Kebijakan Satu Peta (*One Map Policy*) yang diatur dalam Perpres No. 9 Tahun 2016 merupakan langkah strategis untuk menyelaraskan seluruh data dan informasi geospasial terkait pemanfaatan lahan di Indonesia. Tujuan utama dari kebijakan ini adalah untuk mengatasi masalah tumpang tindih izin dalam pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA), yang selama ini sering menyebabkan konflik dan ketidakpastian dalam pemanfaatan lahan. Dengan adanya satu peta yang terintegrasi, diharapkan dapat mempercepat pengambilan keputusan dalam perencanaan

dan pengelolaan SDA, serta memberikan gambaran yang jelas mengenai status dan penggunaan lahan di seluruh Indonesia.

Dengan Kebijakan Satu Peta, pemerintah berupaya meningkatkan transparansi dan akurasi data geospasial yang digunakan dalam perencanaan pembangunan dan pengelolaan SDA. Kebijakan ini mengintegrasikan berbagai peta dan data dari instansi terkait, termasuk peta administrasi, penggunaan lahan, hingga izin-izin yang telah dikeluarkan. Dengan demikian, setiap pihak yang terlibat dalam pengelolaan SDA dapat mengakses informasi yang konsisten dan akurat, mengurangi potensi konflik antar pihak dan mempercepat proses evaluasi dan izin pengelolaan lahan.

Kebijakan Satu Peta juga meningkatkan efektivitas pengawasan terhadap pemanfaatan SDA. Dengan peta yang terintegrasi dan sistem yang lebih transparan, pemantauan penggunaan lahan dapat dilakukan secara lebih mudah dan terkoordinasi. Hal ini memungkinkan pemerintah dan masyarakat untuk mengawasi apakah penggunaan lahan sesuai dengan izin yang diberikan, serta meminimalkan penyalahgunaan atau pengelolaan yang merugikan lingkungan. Kebijakan ini diharapkan dapat menciptakan tata kelola SDA yang lebih baik, adil, dan berkelanjutan.

3. Kebijakan Sektor Pertanian

a. Sistem Pertanian Berkelanjutan

Pemerintah Indonesia mendorong penerapan sistem pertanian berkelanjutan sebagai langkah strategis untuk memastikan keberlanjutan produksi pangan dan pelestarian sumber daya alam. Sistem ini menekankan pada konservasi tanah dan air, yang bertujuan untuk mencegah erosi, menjaga kesuburan tanah, serta mengoptimalkan penggunaan air secara efisien. Diversifikasi tanaman juga menjadi fokus utama, dengan harapan dapat meningkatkan ketahanan pangan serta mengurangi ketergantungan pada satu komoditas pertanian. UU No. 22 Tahun 2019, yang menjadi payung hukum, memberikan dasar hukum yang kuat untuk penguatan sistem pertanian berkelanjutan ini di Indonesia, mengatur berbagai kebijakan yang mendukung

pengelolaan sumber daya alam secara ramah lingkungan dan efisien.

Pada rangka mendukung ketahanan pangan nasional, Kementerian Pertanian meluncurkan beberapa program strategis, salah satunya adalah Kawasan Rumah Pangan Lestari (KRPL). Program ini bertujuan untuk mendorong masyarakat, terutama di pedesaan, untuk memanfaatkan pekarangan rumah sebagai lahan produksi pangan. Melalui KRPL, petani dapat menanam berbagai jenis tanaman pangan dengan prinsip keberlanjutan dan efisiensi, serta memanfaatkan limbah organik sebagai pupuk alami. Selain itu, pemerintah juga meluncurkan program Food Estate yang bertujuan untuk meningkatkan produksi pangan dengan memanfaatkan lahan-lahan marginal di berbagai daerah, namun tetap dengan mengutamakan kelestarian lingkungan.

Kebijakan ini tidak hanya berfokus pada aspek produksi pangan, tetapi juga memperhatikan keberlanjutan lingkungan. Teknologi ramah lingkungan, seperti penggunaan pestisida alami, pemanfaatan energi terbarukan, serta pengelolaan air secara berkelanjutan, diintegrasikan dalam praktik pertanian. Dengan demikian, sistem pertanian berkelanjutan ini diharapkan dapat memberikan manfaat jangka panjang, baik bagi ketahanan pangan nasional maupun kelestarian ekosistem.

b. Subsidi dan Akses Pembiayaan

Pemerintah Indonesia melalui berbagai kebijakan berupaya untuk mendukung petani kecil dalam meningkatkan produktivitas. Salah satu kebijakan penting adalah program Kredit Usaha Rakyat (KUR), yang menyediakan akses pembiayaan dengan bunga rendah untuk petani kecil. KUR dirancang untuk membantu petani memperoleh modal yang diperlukan untuk membeli alat, bahan, atau sarana produksi lainnya, serta untuk meningkatkan kapasitas usaha. Dengan program ini, petani dapat mengakses pembiayaan yang terjangkau, yang pada gilirannya dapat meningkatkan hasil pertanian dan mendorong pertumbuhan sektor pertanian secara lebih inklusif.

Pemerintah juga memberikan subsidi pupuk untuk memastikan petani dapat memperoleh pupuk dengan harga yang lebih terjangkau. Subsidi ini bertujuan untuk mengurangi biaya

produksi petani, terutama dalam kondisi fluktuasi harga pupuk yang seringkali dapat membebani petani kecil. Dengan adanya subsidi pupuk, petani dapat menjaga kualitas dan kuantitas hasil pertanian tanpa harus terbebani oleh biaya yang tinggi. Hal ini penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan memastikan ketahanan pangan di tingkat lokal.

Program subsidi pupuk dan KUR juga berfokus pada keberlanjutan lingkungan. Pemerintah mengarahkan petani untuk menggunakan pupuk dengan cara yang ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang berlebihan. Selain itu, akses pembiayaan yang diberikan melalui KUR dapat digunakan untuk investasi dalam teknologi pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Dengan demikian, kebijakan subsidi dan akses pembiayaan ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan petani, tetapi juga untuk menjaga kelestarian sumber daya alam dan mendorong praktik pertanian yang berkelanjutan.

4. Kebijakan Sektor Perikanan

a. Penangkapan Terukur

Kebijakan Penangkapan Terukur yang diterapkan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) merupakan langkah strategis untuk mengelola sumber daya perikanan secara berkelanjutan. Berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 18 Tahun 2021, kebijakan ini mengatur penangkapan ikan dengan menetapkan kuota berdasarkan zona perairan. Dengan cara ini, KKP berupaya mencegah *Overfishing* (penangkapan ikan secara berlebihan) yang dapat merusak ekosistem laut dan mengancam keberlanjutan stok ikan di perairan Indonesia. Penetapan kuota dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas tangkap yang dapat diperbaharui dari populasi ikan dan kondisi ekosistem laut.

Implementasi kebijakan ini dimulai secara luas pada tahun 2023, dengan tujuan utama untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan ekonomi masyarakat pesisir dan konservasi sumber daya perikanan. Kuota yang ditetapkan tidak hanya memperhitungkan jumlah ikan yang dapat ditangkap, tetapi juga mempertimbangkan faktor lingkungan seperti waktu dan tempat

penangkapan ikan untuk menghindari gangguan pada musim pemijahan ikan. Dengan adanya pembatasan yang jelas, diharapkan stok ikan dapat pulih dengan baik dan mendukung keberlanjutan sektor perikanan dalam jangka panjang.

Dengan kebijakan Penangkapan Terukur ini, KKP juga mendorong nelayan untuk lebih bertanggung jawab dalam melaksanakan kegiatan penangkapan ikan, sekaligus meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga kelestarian sumber daya alam laut. Kebijakan ini tidak hanya memberikan manfaat bagi nelayan, tetapi juga bagi ekosistem laut dan ketahanan pangan nasional, dengan memastikan pasokan ikan yang berkelanjutan. Dengan implementasi yang tepat, kebijakan ini diharapkan dapat mengurangi konflik antar sektor dan memperkuat pengelolaan sumber daya perikanan secara terintegrasi.

b. Restorasi Ekosistem Laut

Restorasi Ekosistem Laut menjadi salah satu fokus utama dalam kebijakan sektor perikanan Indonesia guna menjaga keberlanjutan sumber daya laut. Salah satu upaya yang digalakkan adalah rehabilitasi ekosistem mangrove. Mangrove memiliki peran penting dalam ekosistem laut, seperti menyediakan habitat bagi berbagai spesies ikan, melindungi pantai dari erosi, dan menyerap karbon dioksida. Melalui program restorasi mangrove, pemerintah bertujuan untuk memperbaiki kualitas lingkungan pesisir yang telah rusak akibat aktivitas manusia dan perubahan iklim. Program ini juga melibatkan partisipasi masyarakat lokal yang secara langsung diuntungkan oleh peningkatan hasil perikanan di wilayah tersebut.

Pemerintah juga mengimplementasikan pelarangan penggunaan alat tangkap yang tidak ramah lingkungan. Alat tangkap seperti trawl dan bom ikan yang dapat merusak habitat laut dan mengancam kelangsungan hidup spesies ikan, kini dilarang penggunaannya. Kebijakan ini diharapkan dapat mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh metode penangkapan ikan yang tidak berkelanjutan. Sebagai pengganti, nelayan didorong untuk menggunakan alat tangkap yang lebih

ramah lingkungan, yang tidak merusak terumbu karang atau dasar laut, serta mendukung keberlanjutan hasil tangkapan ikan.

Dengan restorasi ekosistem laut, Indonesia berupaya menjaga keseimbangan antara pemanfaatan sumber daya alam dan konservasi lingkungan. Upaya ini bukan hanya bertujuan untuk memperbaiki kondisi ekosistem laut yang rusak, tetapi juga untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat pesisir. Dengan memperbaiki kondisi lingkungan, diharapkan akan ada peningkatan hasil perikanan yang lebih stabil, meningkatkan ketahanan pangan, serta memastikan sumber daya laut tetap tersedia bagi generasi mendatang.

5. Kebijakan Konservasi dan Rehabilitasi SDA

Pemerintah Indonesia telah mengembangkan sejumlah kebijakan untuk mendukung konservasi dan rehabilitasi sumber daya alam (SDA) melalui berbagai program yang berfokus pada pemulihan ekosistem dan perlindungan keanekaragaman hayati. Salah satunya adalah Gerakan Nasional Pemulihan Daerah Aliran Sungai (GNPDAS), yang bertujuan untuk memulihkan kualitas dan kuantitas air di daerah aliran sungai yang telah terdegradasi. Program ini melibatkan berbagai pihak, termasuk masyarakat lokal, pemerintah daerah, dan lembaga non-pemerintah, untuk memperbaiki ekosistem sungai yang vital bagi keberlanjutan kehidupan manusia dan alam. Melalui pemulihan daerah aliran sungai, diharapkan kualitas lingkungan hidup masyarakat pesisir dan pegunungan dapat meningkat, serta bencana alam seperti banjir dapat dikurangi.

Program Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) juga menjadi salah satu kebijakan strategis pemerintah dalam mengatasi kerusakan hutan dan lahan. RHL bertujuan untuk menanggulangi deforestasi dan kerusakan ekosistem akibat konversi lahan untuk pertanian dan industri. Melalui program ini, pemerintah melakukan penanaman kembali pohon-pohon yang terdegradasi dan mendorong upaya pemulihan kualitas tanah. Keberhasilan RHL diharapkan dapat memperbaiki tutupan hutan, mengurangi emisi karbon, serta meningkatkan cadangan air tanah yang sangat penting untuk kehidupan masyarakat.

Pemberdayaan Masyarakat Hukum Adat (MHA) juga merupakan bagian integral dari kebijakan konservasi dan rehabilitasi SDA. MHA berperan kunci dalam pengelolaan sumber daya alam secara

berkelanjutan, karena memiliki pengetahuan lokal yang sangat berguna dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Dalam kebijakan ini, masyarakat adat diberdayakan untuk mengelola dan melestarikan kawasan konservasi dengan memperhatikan adat istiadat dan kearifan lokal. Hal ini memberikan solusi yang lebih inklusif, mengakui hak-hak adat, dan mengintegrasikan keanekaragaman budaya dalam pengelolaan sumber daya alam.

Kebijakan konservasi ini tidak hanya berfokus pada pemulihan ekosistem darat, tetapi juga kawasan konservasi laut. Pemerintah mendorong pengelolaan kawasan konservasi secara kolaboratif antara pemerintah, masyarakat, dan pihak swasta. Pengelolaan ini penting untuk melindungi terumbu karang, hutan mangrove, dan ekosistem pesisir yang menjadi habitat bagi banyak spesies laut. Dengan pendekatan yang berbasis pada kolaborasi ini, diharapkan Indonesia dapat melestarikan keanekaragaman hayati yang kaya di laut dan darat, serta memastikan keberlanjutan lingkungan untuk generasi mendatang.

6. Pemberdayaan Masyarakat Lokal

Pemberdayaan masyarakat lokal dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA) telah menjadi salah satu kebijakan penting dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu pendekatan yang diterapkan adalah program Hutan Sosial, yang memberikan hak kelola hutan kepada masyarakat sekitar untuk memperbaiki pengelolaan hutan secara berkelanjutan. Melalui Hutan Sosial, masyarakat diberikan akses untuk memanfaatkan sumber daya hutan dengan cara yang ramah lingkungan, seperti penanaman pohon yang bernilai ekonomi dan konservasi. Program ini tidak hanya berfokus pada keberlanjutan ekosistem hutan, tetapi juga pada peningkatan kesejahteraan masyarakat yang bergantung pada hutan sebagai sumber penghidupan.

Perhutanan Sosial (PS) adalah kebijakan lain yang dirancang untuk memberikan masyarakat hak kelola atas kawasan hutan negara yang tidak dikelola secara efektif. Dengan adanya PS, masyarakat dapat memanfaatkan hasil hutan seperti kayu dan non-kayu secara legal dan berkelanjutan. Program ini juga mendorong masyarakat untuk terlibat dalam kegiatan rehabilitasi lahan dan pemeliharaan ekosistem hutan, yang berdampak positif terhadap kelestarian lingkungan. Hal ini mengubah paradigma dari eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan

menjadi pengelolaan yang lebih bertanggung jawab dan berbasis pada kesejahteraan masyarakat setempat.

Sektor perikanan juga mengadopsi pendekatan berbasis masyarakat, khususnya melalui program Perikanan Skala Kecil. Inisiatif ini memberi peluang bagi nelayan kecil untuk mengelola sumber daya perikanan secara lebih efisien dan berkelanjutan. Dengan pemberdayaan nelayan kecil, dapat meningkatkan hasil tangkapan melalui teknik yang ramah lingkungan, serta memperbaiki kondisi sosial dan ekonomi. Program ini juga bertujuan untuk menjaga stok ikan di perairan lokal agar tetap lestari, menghindari eksploitasi berlebihan yang dapat merusak ekosistem laut.

7. Kebijakan Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim

Indonesia, sebagai negara dengan potensi biodiversitas yang besar, juga menghadapi tantangan signifikan terkait perubahan iklim, salah satunya adalah tingginya emisi gas rumah kaca (GHG). Dalam rangka menanggapi tantangan ini, Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi melalui *Nationally Determined Contributions* (NDC) sebagai bagian dari kesepakatan global dalam Kerangka Konvensi Perubahan Iklim PBB (UNFCCC). Komitmen ini menargetkan pengurangan emisi sekitar 29% secara mandiri pada tahun 2030 dan hingga 41% dengan dukungan internasional. Sebagai salah satu negara dengan sektor pertanian dan kehutanan yang sangat luas, Indonesia menempatkan kedua sektor ini sebagai prioritas utama dalam kebijakan mitigasi perubahan iklim.

Sektor pertanian, dengan pola penggunaan lahan dan pengelolaan tanah yang tidak berkelanjutan, merupakan penyumbang emisi yang signifikan, terutama dari proses dekomposisi limbah organik, penggunaan pupuk kimia, serta pembukaan lahan untuk pertanian. Untuk mengurangi emisi dari sektor ini, kebijakan adaptasi dan mitigasi yang dilaksanakan oleh pemerintah mencakup peralihan menuju sistem pertanian berkelanjutan, penerapan pertanian organik, dan pengelolaan tanah yang lebih efisien. Peningkatan ketahanan sektor pertanian terhadap dampak perubahan iklim juga dilakukan dengan memanfaatkan teknologi ramah lingkungan, seperti sistem irigasi yang hemat air dan pengelolaan air yang lebih efisien.

Sektor kehutanan juga memiliki peran penting dalam kebijakan mitigasi perubahan iklim. Dalam upaya mengurangi deforestasi dan

degradasi hutan, Indonesia mengadopsi program REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation). Program ini bertujuan untuk mengurangi emisi karbon melalui konservasi hutan dan pengelolaan yang berkelanjutan, dengan melibatkan masyarakat lokal, pemangku kepentingan, serta sektor swasta dalam upaya rehabilitasi hutan dan penanaman kembali pohon. REDD+ diharapkan dapat memberikan insentif bagi pemilik lahan dan masyarakat adat untuk menjaga kelestarian hutan, serta memperoleh manfaat ekonomi dari aktivitas konservasi.

B. Peran Masyarakat dan Swasta dalam Konservasi SDA

Sumber daya alam (SDA) merupakan aset vital bagi kehidupan manusia dan pembangunan suatu bangsa. Namun, eksploitasi yang berlebihan, perubahan iklim, dan degradasi lingkungan telah menyebabkan penurunan kualitas dan kuantitas SDA secara signifikan. Untuk itu, konservasi sumber daya alam menjadi hal yang mendesak, tidak hanya sebagai tanggung jawab negara, tetapi juga membutuhkan keterlibatan aktif dari masyarakat dan sektor swasta (Fadilla *et al.*, 2022). Dalam konteks global, pendekatan partisipatif dan kolaboratif menjadi paradigma baru dalam pengelolaan SDA yang berkelanjutan. Di Indonesia, peran serta masyarakat dan swasta dalam konservasi SDA semakin diperkuat melalui berbagai kebijakan, inisiatif, dan kolaborasi dengan pemerintah dan lembaga internasional.

1. Peran Masyarakat dalam Konservasi SDA

a. Konsep Partisipasi Masyarakat

Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) merupakan elemen kunci dalam upaya konservasi dan keberlanjutan ekosistem. Konsep ini melibatkan keterlibatan aktif masyarakat lokal dalam berbagai tahap pengelolaan SDA, mulai dari perencanaan hingga evaluasi. Partisipasi ini tidak hanya terbatas pada pengelolaan lingkungan, tetapi juga mencakup aspek sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat. Melalui partisipasi, masyarakat dapat berkontribusi pada pengambilan keputusan yang lebih inklusif, yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lokal. Sebagai contoh, masyarakat dapat ikut serta dalam menentukan kawasan konservasi atau

menetapkan kebijakan pengelolaan yang tidak hanya melindungi SDA tetapi juga mendukung mata pencaharian (Yuliani & Herminasari, 2017).

Pada konteks konservasi SDA, partisipasi masyarakat sangat penting dalam meningkatkan kesadaran dan keterlibatan dalam upaya perlindungan dan rehabilitasi ekosistem. Masyarakat yang terlibat dalam kegiatan konservasi lebih cenderung memiliki rasa tanggung jawab terhadap kelestarian lingkungan sekitar. Salah satu contoh partisipasi yang efektif adalah dalam restorasi lahan dan rehabilitasi hutan, di mana masyarakat lokal dilibatkan dalam penanaman pohon, pengawasan kebakaran hutan, dan pengelolaan kawasan lindung. Hal ini tidak hanya membantu dalam menjaga SDA tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan sosial bagi komunitas, seperti peningkatan pendapatan melalui ekowisata atau hasil hutan non-kayu.

Keberhasilan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan SDA dapat diukur melalui proses yang transparan dan berkelanjutan, di mana masyarakat tidak hanya dilibatkan dalam pelaksanaan kegiatan, tetapi juga dalam pengawasan dan evaluasi program konservasi. Evaluasi yang melibatkan masyarakat membantu memastikan bahwa program-program tersebut efektif dan memberikan dampak positif yang berkelanjutan. Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan SDA juga mendukung prinsip-prinsip keberlanjutan, di mana perlindungan SDA dilakukan dengan memperhatikan kesejahteraan masyarakat dan kelangsungan sumber daya alam itu sendiri.

b. Skema Perhutanan Sosial

Skema Perhutanan Sosial yang diterapkan oleh pemerintah Indonesia sejak 2016 merupakan upaya untuk melibatkan masyarakat dalam pengelolaan hutan negara secara berkelanjutan. Melalui skema ini, masyarakat diberi akses legal untuk mengelola kawasan hutan selama 35 tahun, dengan tujuan utama untuk konservasi dan pemanfaatan sumber daya hutan secara lestari. Program ini mencakup lima bentuk pengelolaan, yaitu Hutan Kemasyarakatan (HKm), Hutan Desa (HD), Hutan Tanaman Rakyat (HTR), Kemitraan Kehutanan, dan Hutan Adat. Setiap bentuk pengelolaan memiliki karakteristik dan pendekatan

yang disesuaikan dengan kondisi lokal dan kebutuhan masyarakat, baik dari segi ekonomi maupun lingkungan.

Keuntungan utama dari skema Perhutanan Sosial adalah pemberian hak kelola hutan kepada masyarakat yang sebelumnya terbatas oleh kebijakan hutan negara. Dengan adanya akses legal ini, masyarakat memiliki kewenangan untuk mengelola hutan dalam jangka panjang, yang dapat meningkatkan kesejahteraan dan mendorong untuk menjaga kelestarian lingkungan. Melalui pengelolaan yang lebih berbasis masyarakat, diharapkan dapat mengurangi perusakan hutan yang disebabkan oleh kegiatan ilegal seperti penebangan liar dan pembukaan lahan yang tidak terkontrol. Selain itu, pemanfaatan hasil hutan secara lestari memberikan alternatif pendapatan yang dapat mengurangi ketergantungan masyarakat pada praktik-praktik yang merusak lingkungan.

Hingga tahun 2023, lebih dari 6,5 juta hektar hutan di Indonesia telah dikelola oleh masyarakat melalui skema Perhutanan Sosial. Program ini telah terbukti berhasil memberikan dampak positif, tidak hanya dalam hal pelestarian hutan tetapi juga dalam meningkatkan taraf hidup masyarakat. Pengelolaan hutan oleh masyarakat lokal memungkinkan terjadinya keseimbangan antara pemanfaatan sumber daya alam dan upaya konservasi. Program ini juga meningkatkan kesadaran dan keterlibatan masyarakat dalam menjaga hutan sebagai bagian dari warisan alam yang harus dilindungi untuk generasi mendatang.

c. Kelembagaan Adat dan Kearifan Lokal

Masyarakat adat di Indonesia telah lama berperan penting dalam menjaga kelestarian sumber daya alam (SDA) melalui kearifan lokal yang diwariskan turun-temurun. Praktik-praktik ini tidak hanya mencerminkan hubungan harmonis antara manusia dan alam, tetapi juga menciptakan sistem pengelolaan yang berkelanjutan. Sebagai contoh, sistem repong damar di Lampung yang menggabungkan penanaman damar dan tanaman lainnya dalam satu ekosistem, atau sasi di Maluku yang mengatur waktu dan cara penangkapan ikan untuk mencegah *Overfishing*, keduanya adalah bukti nyata bagaimana kearifan lokal telah mendukung konservasi ekosistem secara berkelanjutan. Begitu

juga dengan larangan tebang pohon tertentu di Kalimantan yang melindungi spesies pohon penting bagi ekosistem hutan.

Pemerintah Indonesia mengakui pentingnya kearifan lokal ini dalam pengelolaan SDA melalui Undang-Undang No. 6 Tahun 2014 tentang Desa, yang memberikan ruang bagi masyarakat hukum adat untuk berperan aktif dalam pengelolaan sumber daya alam di wilayah. Melalui regulasi ini, masyarakat adat diberikan hak untuk mengelola, menjaga, dan memanfaatkan SDA di sekitar dengan tetap memperhatikan prinsip-prinsip keberlanjutan. Pengakuan terhadap hak-hak ini memberikan masyarakat adat keleluasaan dalam menjalankan tradisi dan praktik konservasi yang telah terbukti efektif dalam menjaga keseimbangan alam.

Dengan adanya pengakuan ini, diharapkan masyarakat adat dapat terus berperan dalam menjaga kelestarian ekosistem serta meningkatkan kesejahteraan tanpa merusak lingkungan. Penguatan kelembagaan adat dan kearifan lokal dalam pengelolaan SDA juga menjadi landasan penting dalam kebijakan pembangunan berkelanjutan di Indonesia, yang mengakui bahwa keseimbangan antara kebutuhan ekonomi dan pelestarian alam harus saling mendukung. Hal ini bukan hanya mendatangkan manfaat bagi masyarakat adat, tetapi juga bagi keberlanjutan ekosistem Indonesia secara keseluruhan.

d. Peran Komunitas Lingkungan dan LSM Lokal

Organisasi masyarakat sipil dan komunitas lingkungan memiliki peran yang sangat penting dalam upaya konservasi sumber daya alam (SDA) di Indonesia. Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) seperti WALHI (Wahana Lingkungan Hidup Indonesia), Yayasan KEHATI (Keanekaragaman Hayati), serta jaringan masyarakat adat seperti AMAN (Aliansi Masyarakat Adat Nusantara) aktif dalam mengadvokasi kebijakan, memberikan edukasi kepada masyarakat, dan melaksanakan program-program konservasi di lapangan. Melalui pendekatan berbasis komunitas, menggerakkan masyarakat untuk terlibat dalam upaya pelestarian SDA dengan cara yang lebih inklusif dan berbasis pada kearifan lokal.

Program-program yang digagas oleh komunitas lingkungan dan LSM lokal meliputi berbagai inisiatif yang berfokus pada

pelestarian ekosistem. Misalnya, edukasi konservasi yang diberikan kepada siswa sekolah untuk menanamkan kesadaran sejak dini mengenai pentingnya menjaga alam. Selain itu, aksi nyata seperti reboisasi atau penanaman pohon, pembersihan sungai, dan kampanye pelestarian satwa dilindungi banyak dilakukan oleh organisasi-organisasi ini. Kegiatan tersebut tidak hanya melibatkan masyarakat setempat tetapi juga menyoar publik luas, dengan tujuan meningkatkan kepedulian dan partisipasi aktif dalam menjaga kelestarian lingkungan.

Banyak dari program ini dilaksanakan secara swadaya oleh komunitas dan organisasi atau dengan bantuan hibah dari berbagai pihak, baik pemerintah, lembaga donor internasional, maupun sektor swasta. Dengan pendekatan ini, komunitas dan LSM lokal tidak hanya mendukung program-program pemerintah tetapi juga memperkuat kesadaran kolektif mengenai pentingnya keberlanjutan lingkungan. Kontribusinya sangat krusial dalam memperkuat upaya konservasi SDA di Indonesia, karena mampu menjangkau masyarakat secara langsung dan mendorong partisipasi aktif dalam pelestarian alam.

2. Peran Swasta dalam Konservasi SDA

a. *Corporate Social Responsibility (CSR)*

Corporate Social Responsibility (CSR) merupakan salah satu sarana penting bagi perusahaan swasta, terutama yang bergerak di sektor ekstraktif seperti tambang, kelapa sawit, kehutanan, dan energi, untuk berkontribusi terhadap konservasi sumber daya alam (SDA). Program CSR seringkali diwajibkan oleh pemerintah sebagai bagian dari kewajiban perusahaan untuk memberikan dampak positif kepada masyarakat dan lingkungan sekitar. Dalam konteks ini, perusahaan tidak hanya berfokus pada keuntungan finansial tetapi juga memperhatikan keberlanjutan lingkungan hidup. CSR di sektor lingkungan hidup sering kali melibatkan upaya reboisasi, konservasi kawasan penyangga, serta restorasi habitat yang terdegradasi akibat aktivitas industri (Sachs, 2022).

Contoh nyata dari kontribusi perusahaan swasta dalam konservasi SDA adalah program Restorasi Ekosistem Riau yang dijalankan oleh PT. RAPP (*Royal Asia-Pacific Paper*). Program

ini bekerja sama dengan pemerintah dan lembaga swadaya masyarakat (LSM) untuk mengelola kawasan hutan gambut secara lestari. Aktivitas restorasi ini tidak hanya melibatkan penanaman pohon, tetapi juga pemulihan ekosistem gambut yang sangat vital untuk penyimpanan karbon dan penahan banjir. Melalui kolaborasi ini, PT. RAPP berkontribusi dalam upaya pengurangan emisi karbon sekaligus mendukung upaya pemerintah dalam mengatasi perubahan iklim.

PT. Pertamina juga memiliki inisiatif yang mendukung konservasi lingkungan, yakni Program Mangrove for Coastal Resilience. Program ini bertujuan untuk memulihkan ekosistem mangrove di pesisir utara Jawa, yang merupakan wilayah yang rentan terhadap abrasi dan perubahan iklim. Dengan melakukan penanaman mangrove, Pertamina tidak hanya berperan dalam rehabilitasi lingkungan, tetapi juga membantu meningkatkan ketahanan ekosistem pesisir yang menjadi buffer terhadap ancaman bencana alam seperti tsunami dan banjir. Inisiatif CSR seperti ini menunjukkan bahwa sektor swasta memiliki peran penting dalam pelestarian SDA, dengan memberikan dampak positif baik bagi lingkungan maupun masyarakat sekitar.

b. Skema *Public-Private Partnership* (PPP)

Skema *Public-Private Partnership* (PPP) atau kemitraan publik-swasta telah menjadi salah satu model yang efektif dalam mendanai dan mengimplementasikan proyek-proyek konservasi sumber daya alam (SDA). Melalui skema ini, sektor publik dan swasta bekerja sama dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan SDA, mengurangi beban biaya pemerintah, serta memastikan keberlanjutan proyek. Kemitraan semacam ini memungkinkan pemerintah untuk mengakses sumber daya finansial dan teknologi dari sektor swasta, sementara sektor swasta mendapatkan kesempatan untuk berinvestasi dalam proyek yang memberikan manfaat sosial dan lingkungan.

Salah satu contoh konkret dari penerapan skema PPP dalam konservasi adalah pengelolaan Taman Nasional Komodo. Dalam proyek ini, sektor swasta dilibatkan dalam pengembangan ekowisata yang ramah lingkungan, dengan tujuan untuk meningkatkan pendapatan daerah dan mendukung konservasi alam. Pengelolaan ekowisata ini melibatkan pembagian tanggung

jawab yang jelas antara pihak publik dan swasta: sektor publik bertanggung jawab dalam hal pengawasan dan konservasi, sementara sektor swasta fokus pada pengembangan fasilitas wisata dan pengelolaan kunjungan turis. Model ini tidak hanya mendukung pelestarian lingkungan, tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi bagi masyarakat sekitar.

Keberhasilan skema PPP dalam Taman Nasional Komodo menunjukkan bagaimana sektor swasta dapat berperan penting dalam konservasi SDA sambil tetap memanfaatkan potensi ekonomi melalui pariwisata berkelanjutan. Dengan adanya keseimbangan antara konservasi dan komersialisasi, proyek-proyek semacam ini tidak hanya melestarikan keanekaragaman hayati, tetapi juga mendorong pertumbuhan ekonomi lokal. Pengalaman ini dapat dijadikan contoh bagi pengelolaan kawasan konservasi lainnya di Indonesia, memperlihatkan potensi besar kemitraan publik-swasta dalam keberlanjutan ekosistem dan pembangunan ekonomi.

c. Inisiatif Green Business dan Green Investment

Inisiatif green business dan green investment telah menjadi bagian integral dari strategi perusahaan swasta untuk mengadopsi praktik bisnis berkelanjutan yang mendukung konservasi sumber daya alam (SDA). Perusahaan-perusahaan mulai bergerak menuju model bisnis yang lebih ramah lingkungan, dengan fokus pada pertanian organik, ekowisata, dan produk yang berbasis pada prinsip konservasi. Di sektor pertanian, misalnya, praktik pertanian organik yang tidak hanya mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya, tetapi juga memperbaiki kualitas tanah dan air. Ekowisata juga berkembang sebagai model bisnis yang mengutamakan pelestarian alam sambil memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat setempat. Produk berbasis konservasi, seperti barang-barang yang ramah lingkungan dan yang dapat didaur ulang, semakin banyak ditemukan di pasaran, mencerminkan perubahan menuju keberlanjutan dalam dunia bisnis (Nishitani *et al.*, 2017).

Skema *green investment* yang melibatkan instrumen seperti *green bond*, *carbon trading*, dan indikator *Environmental, Social, and Governance* (ESG) telah mendapatkan perhatian besar di kalangan investor global. Green bond, misalnya,

memungkinkan perusahaan untuk mengumpulkan dana yang khusus digunakan untuk proyek-proyek yang berfokus pada pelestarian lingkungan dan pengurangan emisi karbon. Begitu pula dengan carbon trading yang memberi insentif bagi perusahaan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, yang sekaligus mendukung upaya mitigasi perubahan iklim. Indikator ESG semakin digunakan oleh investor untuk mengevaluasi kinerja perusahaan dalam hal keberlanjutan lingkungan, sosial, dan tata kelola.

Beberapa perusahaan besar di Indonesia, seperti Unilever Indonesia dan Danone-AQUA, telah menunjukkan komitmen tinggi terhadap konservasi SDA melalui berbagai inisiatif green business dan green investment. Unilever, misalnya, berfokus pada pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan, sementara Danone-AQUA berinvestasi dalam program daur ulang limbah plastik. Kedua perusahaan ini telah menjadi contoh bagi banyak perusahaan lain dalam mengintegrasikan prinsip keberlanjutan ke dalam model bisnis. Melalui langkah-langkah ini, tidak hanya berkontribusi pada pelestarian SDA, tetapi juga menunjukkan bagaimana sektor swasta dapat berperan kunci dalam mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan.

C. Regulasi Internasional Terkait Pengelolaan SDA

Pengelolaan sumber daya alam (SDA) secara berkelanjutan tidak hanya menjadi tanggung jawab lokal atau nasional, tetapi telah berkembang menjadi agenda global. Ini karena banyak tantangan pengelolaan SDA seperti perubahan iklim, deforestasi, pencemaran laut, dan hilangnya keanekaragaman hayati melampaui batas-batas negara. Oleh karena itu, regulasi internasional diperlukan untuk mendorong kolaborasi global dan memastikan bahwa praktik eksploitasi dan pengelolaan sumber daya tidak merugikan keberlanjutan planet secara keseluruhan.

1. Paris Agreement (2015)

Paris Agreement, yang diadopsi pada COP21 di Paris pada tahun 2015, merupakan perjanjian internasional yang menjadi tonggak penting dalam upaya global untuk memerangi perubahan iklim. Tujuan utama

dari perjanjian ini adalah untuk membatasi kenaikan suhu rata-rata global di bawah 2°C di atas tingkat pra-industri dan berupaya lebih ambisius dengan membatasi kenaikan suhu hingga 1,5°C. Untuk mencapai tujuan ini, negara-negara yang menandatangani perjanjian tersebut setuju untuk mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan dan secara kolektif bekerja untuk membatasi dampak perubahan iklim yang lebih luas. Pencapaian target tersebut, meskipun difokuskan pada pengurangan emisi karbon, sangat bergantung pada pengelolaan sumber daya alam (SDA), terutama hutan, tanah, dan air.

Sumber daya alam, terutama hutan, berperan kunci dalam pengendalian iklim global. Hutan bertindak sebagai penyerap karbon yang besar, yang menyerap sejumlah besar CO₂ dari atmosfer dan membantu mengurangi konsentrasi gas rumah kaca. Oleh karena itu, dalam kerangka Paris Agreement, pengelolaan hutan yang berkelanjutan dan upaya restorasi ekosistem menjadi langkah penting untuk mencapainya. Penghijauan kembali dan perlindungan hutan, seperti yang diatur dalam inisiatif REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*), menjadi elemen utama dalam strategi mitigasi perubahan iklim, karena deforestasi dan degradasi hutan merupakan penyumbang signifikan terhadap emisi karbon global.

Tanah dan air juga memiliki peran yang sangat penting dalam mencapai tujuan Paris Agreement. Pengelolaan yang baik terhadap tanah, termasuk melalui pertanian berkelanjutan, dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam menyimpan karbon, sementara pemeliharaan sumber daya air yang sehat dapat membantu mengurangi dampak perubahan iklim terhadap ketahanan pangan dan kehidupan sosial ekonomi masyarakat. Perubahan penggunaan lahan yang tidak terkendali, seperti konversi hutan menjadi lahan pertanian, dapat meningkatkan emisi karbon, yang bertentangan dengan tujuan perjanjian. Oleh karena itu, kebijakan yang mendukung pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan menjadi sangat penting dalam mendukung target Paris Agreement.

Paris Agreement juga memberikan fleksibilitas bagi negara-negara untuk menentukan kontribusi nasional dalam mengurangi emisi, yang dikenal dengan istilah *Nationally Determined Contributions* (NDCs). Setiap negara diwajibkan untuk menetapkan dan meningkatkan ambisinya dalam jangka panjang untuk menurunkan emisi gas rumah kaca dan mencapai tujuan tersebut. Banyak negara, termasuk Indonesia,

memasukkan pengelolaan SDA dalam NDC, baik melalui restorasi ekosistem, pengurangan deforestasi, maupun pengelolaan sumber daya alam lainnya. Melalui inisiatif-inisiatif ini, negara-negara diharapkan dapat mencapai target penurunan emisi yang signifikan.

Pencapaian target Paris *Agreement* tidak hanya bergantung pada kebijakan pemerintah, tetapi juga membutuhkan peran serta sektor swasta, masyarakat sipil, dan komunitas lokal. Kolaborasi antara sektor publik dan swasta, seperti yang dilakukan dalam program mitigasi iklim, menjadi kunci penting dalam mencapai tujuan perubahan iklim global. Di Indonesia, misalnya, program restorasi lahan gambut, rehabilitasi hutan, serta penerapan teknologi ramah lingkungan dalam industri menjadi kontribusi yang sangat mendukung pencapaian target Paris *Agreement*. Dengan adanya kerja sama ini, diharapkan perubahan iklim dapat dikendalikan dan sumber daya alam dapat dikelola dengan lebih baik untuk generasi mendatang.

2. *Convention on Biological Diversity (CBD)*

Convention on Biological Diversity (CBD) adalah perjanjian internasional yang diadopsi pada tahun 1992 di Rio de Janeiro dalam kerangka Konferensi PBB tentang Lingkungan Hidup dan Pembangunan (UNCED). CBD bertujuan untuk melestarikan keanekaragaman hayati (*biodiversity*), memastikan penggunaan yang berkelanjutan dari sumber daya alam hayati, dan membagi manfaat dari pemanfaatannya secara adil dan merata. Dengan lebih dari 190 negara sebagai pihak, CBD menjadi salah satu perjanjian internasional yang paling penting dalam perlindungan lingkungan hidup global. Perjanjian ini juga mengakui bahwa keanekaragaman hayati, yang mencakup seluruh keragaman spesies, ekosistem, dan genetika, merupakan dasar dari kesejahteraan manusia dan pembangunan berkelanjutan.

Salah satu komponen utama dari CBD adalah pengelolaan sumber daya alam hayati secara berkelanjutan. Untuk mencapai tujuan ini, negara-negara pihak perjanjian diharapkan untuk merumuskan kebijakan yang mendukung konservasi, serta pemanfaatan sumber daya alam secara bijak, baik di darat maupun di laut. Keanekaragaman hayati berperan penting dalam keseimbangan ekosistem dan mendukung berbagai sektor kehidupan manusia, termasuk pertanian, perikanan, kesehatan, dan pariwisata. Oleh karena itu, pengelolaan yang tepat

terhadap keanekaragaman hayati sangat penting untuk menjamin ketahanan dan kualitas hidup manusia, serta kelestarian planet ini.

Pada tahun 2010, para pihak perjanjian sepakat pada Target Aichi, yang terdiri dari 20 tujuan spesifik untuk periode 2011-2020. Target Aichi ini dirancang untuk mengatasi ancaman terhadap keanekaragaman hayati dan mempromosikan upaya konservasi global. Beberapa dari target tersebut termasuk pengurangan laju kehilangan spesies, peningkatan luas kawasan perlindungan alam, dan integrasi isu keanekaragaman hayati ke dalam kebijakan ekonomi dan pembangunan. Meskipun beberapa pencapaian sudah terlihat, namun sebagian besar target tersebut belum tercapai sepenuhnya, yang menunjukkan perlunya upaya yang lebih besar dalam konservasi keanekaragaman hayati.

Negara-negara pihak CBD merumuskan Kerangka Keanekaragaman Hayati Global Pasca-2020, yang diadopsi pada Konferensi CBD ke-15 di Kunming, China, pada tahun 2021. Kerangka ini menetapkan tujuan ambisius untuk konservasi keanekaragaman hayati pada dekade berikutnya. Salah satu tujuannya adalah untuk restorasi ekosistem yang rusak, termasuk peningkatan luas area yang dilindungi, dengan target konservasi 30% dari daratan dan lautan dunia pada tahun 2030. Ini mencerminkan upaya besar untuk mengatasi kerusakan yang telah terjadi pada ekosistem dan untuk melindungi kawasan-kawasan yang memiliki nilai ekosistem tinggi.

Kerangka baru ini juga menekankan penghapusan subsidi yang merusak lingkungan, yang selama ini memperburuk kerusakan ekosistem dan mendukung praktik yang tidak berkelanjutan. Oleh karena itu, salah satu pendekatan yang lebih menonjol adalah pendekatan ekonomi yang mencerminkan pentingnya mengintegrasikan nilai keanekaragaman hayati ke dalam keputusan ekonomi dan pembangunan. Negara-negara juga diminta untuk memperkuat pembagian manfaat dari penggunaan sumber daya hayati, terutama yang berkaitan dengan akses ke pengetahuan tradisional dan inovasi masyarakat lokal dan adat, untuk memastikan bahwa pemanfaatannya memberi manfaat yang adil bagi masyarakat setempat dan melindungi hak-haknya.

3. *United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)*

United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS), yang diadopsi pada tahun 1982 dan mulai berlaku pada tahun 1994, merupakan instrumen hukum internasional yang mengatur penggunaan,

pengelolaan, dan perlindungan laut dan sumber daya alamnya. Tujuan utama UNCLOS adalah untuk menciptakan suatu tatanan hukum yang mengatur kegiatan di laut dengan memastikan hak dan kewajiban negara-negara yang terlibat dalam eksploitasi dan konservasi sumber daya laut. Sebagai suatu perjanjian global, UNCLOS memberikan dasar hukum yang kuat bagi negara-negara untuk mengelola wilayah laut, termasuk di dalamnya hak-hak atas laut teritorial, zona ekonomi eksklusif (ZEE), serta tanggung jawab dalam perlindungan lingkungan laut.

Salah satu elemen kunci dalam UNCLOS adalah penetapan zona ekonomi eksklusif (ZEE), yang memberikan hak eksklusif bagi negara pantai untuk membahas dan mengeksploitasi sumber daya alam di laut di luar batas laut teritorial, hingga 200 mil laut dari garis pantai. Negara-negara memiliki hak untuk mengeksploitasi sumber daya perikanan, mineral, energi, dan sumber daya alam lainnya dalam ZEE, namun dengan kewajiban untuk melindungi lingkungan laut dan mematuhi aturan internasional yang berkaitan dengan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. ZEE juga mencakup kewajiban negara untuk mencegah dan mengendalikan pencemaran laut, serta memastikan bahwa kegiatan eksplorasi dan eksploitasi tidak merusak ekosistem laut yang penting.

UNCLOS mengatur pengelolaan perikanan lintas batas yang melibatkan spesies migrasi, seperti ikan pelagis dan mamalia laut. Pengelolaan perikanan lintas batas menjadi sangat penting karena ikan yang bermigrasi atau melintasi beberapa negara memerlukan koordinasi internasional untuk memastikan keberlanjutannya. Dalam hal ini, negara-negara harus bekerja sama dalam pengelolaan stok perikanan untuk menghindari eksploitasi berlebihan, yang dapat menyebabkan penurunan populasi ikan secara drastis. Oleh karena itu, UNCLOS mendesak negara-negara untuk membentuk lembaga regional atau internasional yang bertugas untuk mengatur penangkapan ikan lintas batas, memastikan bahwa pengelolaan sumber daya ikan dilakukan secara adil dan berkelanjutan.

Perlindungan lingkungan laut merupakan isu lain yang diatur dalam UNCLOS. Negara-negara yang menjadi pihak perjanjian ini memiliki kewajiban untuk melindungi dan melestarikan lingkungan laut dari polusi, baik yang bersumber dari kegiatan maritim seperti pengangkutan minyak dan bahan berbahaya, maupun dari kegiatan

eksplorasi sumber daya laut lainnya. UNCLOS mengatur pencegahan polusi laut melalui penerapan standar internasional yang ketat, yang bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem laut dan mencegah kerusakan jangka panjang yang dapat merugikan negara-negara di sepanjang pantai.

UNCLOS memberikan peran penting kepada *International Tribunal for the Law of the Sea* (ITLOS), yang dibentuk untuk menyelesaikan sengketa yang berkaitan dengan penerapan UNCLOS, termasuk sengketa mengenai batas ZEE, pengelolaan perikanan, dan perlindungan lingkungan laut. ITLOS bertugas memberikan keputusan hukum yang mengikat bagi negara-negara yang terlibat dalam sengketa di laut, dan memberikan forum yang adil untuk menyelesaikan perselisihan tersebut. ITLOS juga memastikan bahwa ketentuan dalam UNCLOS dijalankan secara efektif dan bahwa negara-negara bertanggung jawab atas tindakannya yang dapat merusak lingkungan laut atau mengancam keberlanjutan sumber daya laut.

4. *International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture* (ITPGRFA)

International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (ITPGRFA), yang disahkan pada tahun 2001 dan mulai berlaku pada tahun 2004, adalah instrumen internasional yang dikelola oleh Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO). Tujuan utama dari perjanjian ini adalah untuk melindungi dan melestarikan sumber daya genetik tanaman pangan, yang merupakan komponen penting dalam sistem pangan global. Perjanjian ini berfokus pada pengelolaan tanaman yang digunakan untuk konsumsi manusia, serta tanaman yang digunakan dalam produksi pangan, termasuk dalam konteks pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan.

Salah satu prinsip utama ITPGRFA adalah memastikan akses yang adil dan setara terhadap sumber daya genetik tanaman, serta pembagian manfaat yang timbal balik bagi negara-negara yang menyediakannya. Negara-negara berkembang, banyak di antaranya yang memiliki keanekaragaman genetik tanaman yang sangat kaya, seringkali memiliki kapasitas yang terbatas dalam mengembangkan dan memanfaatkan kekayaan tersebut. Oleh karena itu, ITPGRFA berusaha untuk mengatur akses terhadap sumber daya genetik tersebut dengan

memastikan bahwa negara-negara yang memberikan akses tersebut dapat menerima manfaat ekonomi, teknologi, dan kapasitas yang setara.

Perjanjian ini juga menciptakan sebuah mekanisme akses dan pembagian manfaat (ABS), yang memungkinkan negara yang menyediakan bahan genetik tanaman untuk memperoleh manfaat yang adil, seperti transfer teknologi dan penelitian, pelatihan, dan bahkan hasil komersial dari produk-produk berbasis bahan genetik yang dimanfaatkan. ITPGRFA mengatur pembagian manfaat ini melalui perjanjian antar negara dan melalui sistem yang mencakup peraturan yang jelas mengenai hak atas kekayaan intelektual (IPR) untuk hasil penelitian berbasis tanaman. Hal ini memastikan bahwa negara penyedia memiliki hak atas manfaat yang diperoleh dari pengembangan dan komersialisasi bahan genetik tersebut.

Pada konteks perubahan iklim dan degradasi lingkungan, ITPGRFA juga berperan yang penting dalam meningkatkan ketahanan pangan global. Tanaman yang ada di dunia memiliki berbagai adaptasi terhadap berbagai kondisi lingkungan yang berbeda, dan keberagaman genetik tanaman pangan sangat penting untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut. Dengan memelihara dan melestarikan keanekaragaman genetik ini, ITPGRFA berkontribusi pada ketahanan pangan global, yang menjadi sangat relevan mengingat ancaman perubahan iklim dan peningkatan kebutuhan pangan di seluruh dunia.

Sebagai bagian dari implementasinya, ITPGRFA juga mendukung pengembangan bank gen dan koleksi tanaman yang memastikan keberlanjutan dan aksesibilitas sumber daya genetik untuk keperluan pertanian di masa depan. Hal ini sangat penting karena semakin banyak spesies tanaman yang menghadapi ancaman kepunahan akibat perubahan iklim, polusi, dan praktik pertanian yang tidak berkelanjutan. Melalui pengelolaan sumber daya genetik yang lebih baik, ITPGRFA memastikan bahwa ketergantungan global terhadap keanekaragaman genetik tanaman dapat dipertahankan dan dikembangkan untuk mencapai ketahanan pangan yang berkelanjutan.

5. *Stockholm Convention dan Basel Convention*

Stockholm Convention dan *Basel Convention* adalah dua instrumen internasional yang penting dalam pengelolaan bahan berbahaya dan limbah berbahaya. Kedua konvensi ini berfokus pada perlindungan kesehatan manusia dan lingkungan dengan mengatur

penggunaan, produksi, dan perpindahan bahan berbahaya yang memiliki dampak jangka panjang terhadap ekosistem dan kesejahteraan manusia. Keduanya diinisiasi di bawah naungan Program Lingkungan PBB (UNEP) dan dirancang untuk menghadapi tantangan lingkungan yang diakibatkan oleh bahan berbahaya.

Stockholm Convention, yang disahkan pada tahun 2001, bertujuan untuk mengurangi atau menghapuskan produksi dan penggunaan bahan kimia berbahaya yang dikenal dengan sebutan Bahan Organik Persisten (POPs). POPs adalah senyawa kimia yang sangat berbahaya karena kemampuannya untuk bertahan lama di lingkungan, menumpuk dalam rantai makanan, dan menyebabkan dampak buruk pada kesehatan manusia dan hewan. Bahan-bahan ini, seperti DDT, PCB, dan dioxins, dapat mencemari udara, air, dan tanah, serta memiliki efek merugikan yang berkelanjutan. *Stockholm Convention* menetapkan langkah-langkah untuk mengurangi atau menghentikan penggunaan POPs dan mendorong negara-negara peserta untuk mengelola dan memusnahkan bahan-bahan ini dengan cara yang aman.

Basel Convention, yang disepakati pada tahun 1989, lebih berfokus pada pengaturan perpindahan limbah berbahaya antar negara. Konvensi ini bertujuan untuk melindungi negara-negara berkembang dari risiko yang ditimbulkan oleh impor limbah berbahaya, yang sering kali mencakup limbah elektronik, limbah industri, dan bahan kimia berbahaya lainnya. *Basel Convention* mengatur bahwa pengiriman limbah berbahaya antar negara hanya dapat dilakukan dengan persetujuan eksplisit dari negara tujuan, yang memastikan bahwa limbah tersebut akan dikelola dengan aman dan tidak menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

Kedua konvensi ini juga memberikan perhatian khusus pada pengelolaan limbah domestik yang dapat berbahaya jika tidak dikelola dengan tepat. Dalam konteks ini, baik *Stockholm Convention* maupun *Basel Convention* mendesak negara-negara untuk mengembangkan kebijakan pengelolaan limbah yang lebih aman dan berkelanjutan, serta memperkenalkan teknologi untuk memproses limbah berbahaya secara ramah lingkungan. Selain itu, konvensi-konvensi ini juga mendorong peningkatan kesadaran global mengenai pentingnya pengurangan limbah berbahaya di tingkat sumber dan penggunaan bahan yang lebih aman dan ramah lingkungan.

D. Strategi Pengelolaan Berkelanjutan untuk Masa Depan

Pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) yang berkelanjutan adalah suatu keharusan untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan manusia dan keberlanjutan lingkungan. Dengan meningkatnya tekanan terhadap ekosistem global, strategi pengelolaan berkelanjutan menjadi sangat relevan untuk menjamin ketahanan ekosistem serta meminimalkan dampak perubahan iklim, kerusakan lingkungan, dan hilangnya biodiversitas. Dalam kerangka ini, strategi yang baik tidak hanya berfokus pada konservasi, tetapi juga pada pemanfaatan yang adil dan efisien dari SDA untuk kesejahteraan sosial dan ekonomi.

1. Pengelolaan Sumber Daya Alam Berbasis Ekosistem

Pendekatan berbasis ekosistem (*ecosystem-based management*, EbM) menjadi salah satu strategi yang efektif dalam pengelolaan SDA secara berkelanjutan. Pendekatan ini mempertimbangkan keseluruhan sistem ekosistem, termasuk interaksi antar unsur-unsurnya, dan berupaya untuk mempertahankan atau memulihkan ekosistem agar dapat menyediakan manfaat jangka panjang. Pengelolaan berbasis ekosistem mencakup beberapa aspek penting, antara lain:

a. Konservasi Ekosistem

Konservasi ekosistem adalah pendekatan yang mengutamakan pemeliharaan dan perlindungan elemen-elemen alam yang saling terkait, seperti hutan, lahan basah, dan ekosistem laut. Ekosistem ini memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan alam, salah satunya melalui fungsi penyerapan karbon. Hutan, sebagai contoh, berfungsi sebagai penyerap karbon terbesar di dunia, membantu menyeimbangkan kadar gas rumah kaca di atmosfer yang berkontribusi pada perubahan iklim. Lahan basah, di sisi lain, berfungsi sebagai penyaring alami untuk polutan dan penyedia habitat bagi berbagai spesies. Sementara itu, ekosistem laut menyokong kehidupan laut yang kaya dan juga berfungsi sebagai penyerap karbon yang signifikan melalui tumbuhan laut seperti lamun dan terumbu karang.

Pentingnya konservasi ekosistem semakin diperkuat oleh data dan penelitian yang menunjukkan bahwa kerusakan ekosistem ini dapat memperburuk perubahan iklim dan

mengancam keberlanjutan kehidupan manusia. Penghancuran hutan yang masif, konversi lahan basah untuk pertanian, serta kerusakan ekosistem laut akibat polusi dan eksploitasi berlebihan, telah mengurangi kemampuan alam untuk melakukan proses-proses alami yang vital, seperti penyerapan karbon.

b. Restorasi Ekosistem

Restorasi ekosistem adalah proses pemulihan ekosistem yang telah rusak atau terdegradasi untuk mengembalikan fungsinya dalam mendukung kehidupan manusia dan keanekaragaman hayati. Kerusakan ekosistem yang disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti deforestasi, konversi lahan, polusi, dan perubahan iklim, telah mengancam keseimbangan alam. Melalui restorasi, kita berusaha memperbaiki kerusakan ini, baik melalui penghijauan, rehabilitasi lahan, atau pemulihan habitat alami yang telah hilang. Upaya restorasi ini tidak hanya melibatkan penanaman kembali tanaman atau penghijauan, tetapi juga mencakup pengelolaan tanah dan air untuk memastikan keberlanjutan ekosistem tersebut.

Proses restorasi ekosistem memiliki dampak yang luas, mulai dari meningkatkan kualitas tanah dan air hingga mendukung biodiversitas. Contohnya, restorasi hutan dapat memperbaiki kualitas udara dengan meningkatkan kapasitas penyerapan karbon, serta memberikan habitat bagi flora dan fauna yang terancam punah. Selain itu, dengan mengembalikan fungsi ekosistem seperti lahan basah dan terumbu karang, restorasi juga berperan dalam pengendalian banjir, pencegahan erosi, dan perlindungan garis pantai. Ini semua adalah bagian dari upaya menjaga kelestarian alam serta memenuhi kebutuhan manusia akan sumber daya alam yang berkelanjutan.

Pentingnya restorasi ekosistem juga semakin diakui oleh komunitas internasional, yang melihatnya sebagai solusi untuk mengatasi tantangan lingkungan yang semakin kompleks. Program-program restorasi ekosistem di seluruh dunia, seperti yang didorong oleh FAO, melibatkan kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta. Keberhasilan restorasi tidak hanya bergantung pada teknik ilmiah, tetapi juga pada pemahaman lokal dan komitmen semua pihak untuk menjaga kelestarian alam.

2. Penguatan Kebijakan dan Regulasi Lingkungan

Regulasi yang kuat dan penegakan hukum yang konsisten sangat diperlukan untuk memastikan pengelolaan SDA yang berkelanjutan. Beberapa langkah yang perlu diambil antara lain:

a. Pengembangan Kebijakan Adaptif

Pengembangan kebijakan adaptif adalah pendekatan yang memungkinkan kebijakan lingkungan untuk berkembang seiring dengan perubahan kondisi sosial, ekonomi, dan lingkungan. Sebagai respons terhadap tantangan yang dinamis, kebijakan ini tidak hanya menetapkan aturan yang tetap, tetapi juga memberikan ruang untuk penyesuaian seiring dengan pergeseran kondisi dan pengetahuan baru. Kebijakan adaptif sangat penting dalam konteks perubahan iklim dan kerusakan ekosistem yang dapat terjadi secara cepat dan tak terduga. Dengan pendekatan ini, kebijakan dapat diubah atau diperbarui agar tetap relevan dan efektif dalam mengatasi masalah yang ada.

Penerapan kebijakan adaptif dalam pengelolaan sumber daya alam dapat memperkuat ketahanan terhadap dampak perubahan iklim dan bencana alam. Misalnya, dalam pengelolaan sumber daya air, kebijakan adaptif memungkinkan untuk merespons perubahan pola curah hujan dan ketersediaan air dengan cepat. Selain itu, kebijakan semacam ini juga dapat mendukung upaya mitigasi dan restorasi ekosistem yang semakin mendesak, mengingat ekosistem yang terdegradasi membutuhkan penyesuaian dan perawatan berkelanjutan. Melalui pendekatan yang adaptif, pemerintah dapat lebih proaktif dalam merumuskan kebijakan yang responsif terhadap kebutuhan masyarakat dan lingkungan.

Pada pengembangan kebijakan adaptif, keterlibatan berbagai pemangku kepentingan, termasuk masyarakat lokal, sektor swasta, dan organisasi internasional, sangat penting. Partisipasi ini memastikan bahwa kebijakan yang diterapkan tidak hanya efektif, tetapi juga mencerminkan kebutuhan dan harapan masyarakat yang paling terpengaruh. Keterlibatan tersebut memungkinkan kebijakan yang lebih inklusif dan berkelanjutan. Di samping itu, kebijakan adaptif harus didukung oleh data dan informasi ilmiah yang akurat serta evaluasi berkala, sehingga dapat disesuaikan dengan perubahan kondisi yang ada dan

meningkatkan kapasitas adaptasi terhadap tantangan yang terus berkembang.

b. Perlindungan Hak-Hak Masyarakat Lokal

Perlindungan hak-hak masyarakat lokal dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA) merupakan elemen penting dalam menciptakan keberlanjutan dan keadilan sosial. Masyarakat lokal, yang seringkali bergantung langsung pada SDA untuk mata pencaharian, memiliki pengetahuan dan praktik tradisional yang sangat berharga dalam menjaga kelestarian lingkungan. Melibatkannya dalam pengambilan keputusan tidak hanya memberikan rasa memiliki terhadap sumber daya, tetapi juga memperkuat efektivitas kebijakan yang diterapkan, karena lebih memahami karakteristik dan tantangan lokal yang dihadapi.

Kebijakan yang mengakui dan melindungi hak-hak masyarakat lokal ini akan mendorong untuk berperan aktif dalam pengelolaan SDA secara berkelanjutan. Misalnya, dalam pengelolaan hutan, masyarakat adat dapat diberdayakan melalui skema perhutanan sosial yang memberikan akses legal untuk mengelola dan memanfaatkan hutan secara berkelanjutan. Dengan hak ini, masyarakat tidak hanya merasa diberdayakan, tetapi juga termotivasi untuk melestarikan hutan yang menjadi bagian dari budaya dan kehidupan. Selain itu, hal ini juga membantu mengurangi konflik yang mungkin muncul antara masyarakat dan pihak-pihak lain yang berkepentingan dengan SDA.

Perlindungan hak-hak masyarakat lokal juga penting untuk memastikan bahwa mendapatkan manfaat yang adil dari pemanfaatan SDA, seperti akses ke keuntungan ekonomi dan perlindungan terhadap hak atas tanah dan sumber daya alam yang dikelola. Kebijakan ini dapat diterapkan dalam bentuk pengakuan hukum terhadap hak masyarakat adat, serta pembentukan mekanisme yang memungkinkan untuk berpartisipasi secara aktif dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan SDA.

c. Mendorong Kolaborasi Internasional

Mendorong kolaborasi internasional dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA) adalah langkah penting untuk menghadapi tantangan perubahan iklim dan kerusakan

lingkungan yang bersifat global. Isu-isu lingkungan, seperti pemanasan global, hilangnya keanekaragaman hayati, dan polusi lintas batas, tidak mengenal batas negara, sehingga membutuhkan pendekatan yang terkoordinasi di tingkat global. Kolaborasi internasional memungkinkan negara-negara untuk berbagi pengetahuan, teknologi, dan sumber daya dalam upaya mengatasi dampak perubahan iklim serta mempromosikan praktik pengelolaan SDA yang berkelanjutan. Kesepakatan multilateral seperti Paris Agreement, yang mengatur komitmen negara-negara untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, adalah contoh konkret dari kerjasama global yang bertujuan untuk melindungi ekosistem dan mengurangi dampak perubahan iklim.

Dengan kolaborasi internasional, negara-negara juga dapat mengembangkan kebijakan bersama yang memperkuat perlindungan lingkungan di berbagai sektor, mulai dari kehutanan, perikanan, hingga pengelolaan sumber daya air. Selain itu, pengaturan bersama mengenai standar lingkungan, pemantauan emisi, dan pengelolaan kawasan konservasi global akan mempermudah negara-negara dalam mematuhi perjanjian internasional dan melaksanakan kebijakan yang sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan. Kolaborasi ini juga membuka peluang bagi negara-negara berkembang untuk mendapatkan dukungan dalam hal pembiayaan dan teknologi untuk mempercepat transisi menuju ekonomi hijau.

Kerjasama internasional tidak hanya terbatas pada pemerintah negara-negara, tetapi juga melibatkan sektor swasta, organisasi internasional, dan lembaga masyarakat sipil. Sektor swasta, misalnya, dapat berperan dalam mendanai proyek-proyek pengelolaan SDA berkelanjutan, sedangkan organisasi internasional dapat membantu dalam hal koordinasi dan pemantauan implementasi kesepakatan. Dengan adanya kolaborasi yang erat antara berbagai pihak, maka pengelolaan SDA yang lebih efektif dan berkelanjutan dapat tercapai, sehingga dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan dan generasi mendatang dapat menikmati manfaat dari sumber daya alam yang tetap terjaga kelestariannya.

3. Teknologi Ramah Lingkungan dan Inovasi

Inovasi dalam teknologi dapat mendukung pengelolaan SDA yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Beberapa contoh teknologi yang dapat digunakan untuk pengelolaan berkelanjutan meliputi:

a. Teknologi Energi Terbarukan

Pemanfaatan teknologi energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, merupakan langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang berkontribusi besar terhadap perubahan iklim. Tenaga surya, yang memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik melalui panel surya, dan tenaga angin, yang menggunakan turbin untuk mengonversi energi angin menjadi listrik, keduanya menawarkan solusi yang ramah lingkungan. Energi terbarukan ini tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca yang merusak atmosfer, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap pemanasan global dan polusi udara. Dengan semakin berkembangnya teknologi ini, biaya pemasangan dan operasionalnya juga semakin terjangkau, menjadikannya alternatif yang semakin menarik bagi negara-negara di seluruh dunia.

Teknologi energi terbarukan juga memberikan peluang untuk meningkatkan ketahanan energi di berbagai negara, terutama negara-negara yang memiliki potensi sumber daya alam terbarukan yang melimpah, seperti Indonesia dengan potensi energi surya dan angin yang besar. Pemanfaatan energi ini tidak hanya memberikan keuntungan lingkungan, tetapi juga dapat mendukung ekonomi lokal melalui penciptaan lapangan kerja di sektor energi terbarukan, seperti manufaktur panel surya, instalasi sistem energi, dan perawatan turbin angin. Penggunaan energi terbarukan juga mendukung kebijakan diversifikasi energi yang mengurangi ketergantungan pada impor energi fosil dan meningkatkan keamanan energi nasional.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan inovasi dalam bidang energi terbarukan, keberlanjutan jangka panjang semakin terjamin. Teknologi terbaru seperti sistem penyimpanan energi (baterai) memungkinkan energi yang dihasilkan dari sumber terbarukan seperti angin dan matahari dapat disimpan untuk digunakan saat kebutuhan energi meningkat, mengatasi masalah ketergantungan pada sumber energi yang tidak dapat diprediksi.

b. Pertanian Presisi

Pertanian presisi adalah pendekatan yang memanfaatkan teknologi canggih untuk memonitor dan mengelola berbagai aspek pertanian dengan lebih efisien dan tepat sasaran. Salah satu teknologi utama dalam pertanian presisi adalah sensor yang digunakan untuk memantau kondisi tanah, kelembapan, suhu, dan kualitas udara. Dengan memanfaatkan data real-time yang dihasilkan oleh sensor ini, petani dapat mengoptimalkan penggunaan air, pupuk, dan pestisida, hanya pada area yang membutuhkannya, mengurangi pemborosan dan dampak negatif terhadap lingkungan. Teknologi ini memungkinkan pengelolaan yang lebih efektif dan ramah lingkungan, sekaligus meningkatkan hasil pertanian.

Penggunaan pertanian presisi secara signifikan mengurangi ketergantungan pada penggunaan pupuk dan pestisida secara berlebihan, yang sering kali merusak kualitas tanah dan mencemari sumber daya air. Dengan memanfaatkan data yang dikumpulkan oleh sensor, petani dapat mengidentifikasi area yang membutuhkan intervensi dan memberikan perawatan yang lebih tepat dan terfokus. Hal ini tidak hanya menjaga kesuburan tanah tetapi juga mengurangi risiko kontaminasi lingkungan dan dampak kesehatan akibat penggunaan bahan kimia yang tidak terkontrol. Pertanian presisi, oleh karena itu, berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan produksi pangan.

Penerapan pertanian presisi juga dapat meningkatkan produktivitas pertanian dan efisiensi biaya. Dengan memantau dan mengelola variabel lingkungan secara tepat, petani dapat memaksimalkan hasil tanaman dan mengurangi kerugian akibat faktor-faktor yang tidak terkontrol, seperti serangan hama atau penyakit. Teknologi ini memungkinkan petani untuk mengadopsi praktik pertanian yang lebih cerdas dan berkelanjutan, mendukung ketahanan pangan di masa depan, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

c. Sistem Akuaponik dan *Aquaculture*

Sistem akuaponik adalah sebuah metode budidaya yang menggabungkan pertanian dan perikanan dalam satu ekosistem tertutup. Dalam sistem ini, limbah dari ikan digunakan sebagai

pupuk untuk tanaman, sementara tanaman membantu menyaring dan membersihkan air yang digunakan untuk ikan. Hal ini menciptakan siklus yang efisien di mana kedua komponen tersebut saling menguntungkan, mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia dan air yang berlebihan. Selain itu, akuaponik memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan metode pertanian dan perikanan tradisional karena tidak membutuhkan banyak energi dan sumber daya eksternal. Ini menjadikannya pilihan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Tom *et al.*, 2021).

Sistem akuaponik dapat diterapkan di berbagai skala, mulai dari rumah tangga kecil hingga skala komersial. Keuntungan utama dari sistem ini adalah efisiensi penggunaan air yang sangat tinggi, karena air yang digunakan dalam budidaya ikan dapat didaur ulang dan dimanfaatkan kembali untuk tanaman. Dengan menggunakan air dalam jumlah terbatas, sistem ini sangat cocok untuk daerah yang memiliki sumber daya air terbatas. Selain itu, akuaponik juga mengurangi ketergantungan pada tanah, menjadikannya alternatif yang baik untuk pertanian di daerah yang tidak cocok untuk budidaya tanaman konvensional, seperti daerah perkotaan atau daerah dengan tanah yang buruk.

Akuaponik juga berpotensi meningkatkan ketahanan pangan secara berkelanjutan. Sistem ini memungkinkan produksi ikan dan tanaman pangan dalam jumlah yang cukup besar dalam ruang yang terbatas, mengurangi ketergantungan pada impor pangan dan memperkuat ketahanan pangan lokal.

4. Penerapan Ekonomi Hijau dan Ekonomi Biru

Konsep ekonomi hijau dan ekonomi biru semakin menjadi bagian integral dalam pengelolaan berkelanjutan. Ekonomi hijau mendorong penggunaan SDA secara efisien, mengurangi polusi, dan memitigasi perubahan iklim. Sementara itu, ekonomi biru berfokus pada keberlanjutan sektor kelautan dan perikanan. Strategi ini mencakup:

a. Peningkatan Efisiensi dalam Pengelolaan Laut

Peningkatan efisiensi dalam pengelolaan laut adalah salah satu kunci utama dalam mencapai ekonomi hijau dan biru yang berkelanjutan. Salah satu cara utama untuk mencapainya adalah dengan menerapkan praktik perikanan berkelanjutan yang dapat

mengurangi penangkapan ikan berlebihan dan melindungi keanekaragaman hayati laut. Metode seperti penangkapan ikan yang selektif, pembatasan kuota tangkapan, serta pengembangan sistem pemantauan yang lebih baik untuk memastikan praktik perikanan yang adil dan ramah lingkungan, dapat membantu menjaga ekosistem laut tetap sehat dan berfungsi dengan baik. Ini juga termasuk penghentian praktik perikanan destruktif, seperti penggunaan bom ikan dan jaring trawl yang merusak habitat dasar laut.

Pengelolaan kawasan pesisir juga menjadi bagian penting dari efisiensi pengelolaan laut. Kawasan pesisir yang kaya akan ekosistem seperti mangrove, terumbu karang, dan padang lamun berperan vital dalam menyediakan layanan ekosistem yang mendukung kehidupan manusia, seperti perlindungan dari bencana alam, pengendalian erosi, serta penyediaan habitat bagi spesies laut yang penting. Oleh karena itu, perlindungan dan restorasi kawasan pesisir ini sangat penting untuk menjaga keseimbangan alam dan mendukung mata pencaharian masyarakat pesisir yang bergantung pada sumber daya laut.

b. Pemanfaatan Ekosistem Laut untuk Ketahanan Pangan

Pemanfaatan ekosistem laut untuk ketahanan pangan merupakan bagian penting dari konsep ekonomi biru yang berkelanjutan. Salah satu bentuk pemanfaatan ini adalah sistem akuakultur atau budidaya perikanan, yang dapat mengurangi tekanan terhadap stok ikan liar di lautan. Dibandingkan dengan metode penangkapan tradisional yang sering kali eksploitatif, akuakultur yang dikelola secara berkelanjutan mampu menyediakan pasokan protein laut secara konsisten sekaligus menjaga keberlanjutan ekosistem laut. Budidaya seperti ikan kerapu, nila, maupun rumput laut juga memberikan peluang ekonomi bagi masyarakat pesisir tanpa menimbulkan dampak negatif besar terhadap lingkungan.

Restorasi terumbu karang juga menjadi pendekatan penting dalam memperkuat ketahanan pangan dari laut. Terumbu karang tidak hanya menjadi habitat bagi berbagai jenis ikan konsumsi, tetapi juga berfungsi sebagai pelindung alami dari gelombang dan erosi pantai. Upaya restorasi ini, seperti penanaman karang buatan dan pengelolaan kawasan konservasi, membantu

memulihkan keanekaragaman hayati laut yang mendukung produktivitas perikanan lokal. Dengan menjaga keberlangsungan terumbu karang, masyarakat pesisir dapat terus menggantungkan hidup dari laut secara berkelanjutan, baik dari sektor perikanan maupun ekowisata berbasis kelautan.

5. Pendidikan dan Kesadaran Lingkungan

Pendidikan dan kesadaran lingkungan berperan kunci dalam mendukung pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang berkelanjutan. Pengetahuan yang memadai tentang ekologi, konservasi, dan dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan akan membantu masyarakat mengambil keputusan yang bijak dan bertanggung jawab. UNESCO (2020) menekankan pentingnya pendidikan lingkungan hidup sebagai bagian dari pembangunan berkelanjutan, dengan memasukkan topik-topik ini ke dalam kurikulum formal maupun program pendidikan non-formal. Pendidikan ini tidak hanya menyorot aspek kognitif, tetapi juga membangun sikap dan perilaku yang pro-lingkungan.

Salah satu target utama pendidikan lingkungan adalah generasi muda. Melalui pembelajaran kontekstual, seperti sekolah alam, kegiatan penghijauan, dan praktik daur ulang di sekolah, anak-anak dapat memahami pentingnya menjaga lingkungan sejak dini. Pembentukan karakter cinta lingkungan di usia muda akan memberikan dampak jangka panjang terhadap perilakunya sebagai pengambil keputusan di masa depan. Selain itu, pemanfaatan media digital dan sosial juga dapat menjadi alat efektif dalam menyebarkan kampanye kesadaran lingkungan kepada generasi milenial dan Gen Z.

Pendidikan dan pelatihan juga penting bagi kelompok masyarakat yang secara langsung bergantung pada SDA, seperti petani dan komunitas pesisir. Program pelatihan tentang pertanian berkelanjutan, pengelolaan air, atau praktik perikanan ramah lingkungan bisa meningkatkan kapasitas dalam mengelola SDA tanpa merusaknya. Dengan pendekatan partisipatif dan berbasis kearifan lokal, proses pembelajaran menjadi lebih relevan dan mudah diterima oleh masyarakat. Lebih jauh, peningkatan kesadaran publik juga berdampak pada terbentuknya opini dan tekanan sosial terhadap pemerintah dan sektor swasta untuk menerapkan kebijakan yang lebih ramah lingkungan. Kampanye publik, festival lingkungan, dan gerakan sosial

seperti clean-up day telah terbukti menjadi kekuatan moral dalam mendorong perubahan.



BAB VI

TANTANGAN DAN PELUANG DI MASA DEPAN

Tantangan dan peluang di masa depan dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA), terutama dalam sektor pertanian dan perikanan. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan global akan pangan dan sumber daya alam yang berkelanjutan, sektor-sektor ini menghadapi berbagai tantangan besar. Perubahan iklim, penurunan kualitas tanah, krisis air, dan degradasi ekosistem menjadi beberapa isu utama yang mempengaruhi produksi pertanian dan perikanan di seluruh dunia. Dalam menghadapi tantangan ini, pengelolaan yang cerdas dan terintegrasi sangat diperlukan untuk mencapai keberlanjutan.

Di balik tantangan-tantangan tersebut, terdapat berbagai peluang yang dapat dimanfaatkan. Inovasi dalam teknologi pertanian, seperti penggunaan teknologi berbasis data dan sistem pertanian presisi, dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan produksi. Demikian juga, dalam sektor perikanan, inovasi seperti akuaponik dan teknologi budidaya perikanan berkelanjutan dapat membantu mengatasi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas. Peluang ini membuka jalan untuk transformasi dalam pengelolaan SDA yang lebih ramah lingkungan dan berdampak positif pada perekonomian global.

Penting untuk memperhatikan peran pendidikan dan penelitian dalam mengatasi tantangan ini. Penelitian yang berfokus pada pengembangan solusi berbasis teknologi hijau dan keberlanjutan sangat penting untuk memastikan bahwa SDA dikelola dengan bijaksana untuk masa depan. Pendidikan juga berperan krusial dalam menciptakan kesadaran dan mempersiapkan generasi mendatang untuk beradaptasi dengan perubahan yang terjadi, baik di bidang pertanian, perikanan, maupun dalam pengelolaan SDA secara umum.

A. Isu Global dalam Pengelolaan SDA Pertanian dan Perikanan

Pertanian dan perikanan merupakan sektor vital yang menopang ketahanan pangan global, perekonomian masyarakat pedesaan, dan keanekaragaman hayati. Namun, pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) dalam sektor ini menghadapi tantangan yang semakin kompleks akibat tekanan dari pertumbuhan populasi, perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan dinamika geopolitik. Seiring meningkatnya kebutuhan global terhadap pangan dan sumber protein hewani, isu-isu yang terkait dengan keberlanjutan, keadilan akses, dan konservasi menjadi semakin penting. Menurut FAO (2021), sekitar 33% lahan pertanian dunia mengalami degradasi moderat hingga berat, sementara lebih dari 34% stok perikanan global telah dieksploitasi secara berlebihan. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk memperkuat sistem pengelolaan SDA yang adil dan berkelanjutan secara global.

1. Perubahan Iklim sebagai Ancaman Global

Perubahan iklim telah menjadi salah satu tantangan global paling signifikan abad ini. Dampaknya tidak hanya dirasakan dalam bentuk fenomena cuaca ekstrem, tetapi juga mengganggu stabilitas sistem alam dan sosial di seluruh dunia. Peningkatan suhu rata-rata bumi akibat emisi gas rumah kaca telah memicu berbagai perubahan lingkungan yang cepat dan tidak terprediksi. Cuaca yang semakin ekstrem seperti kekeringan panjang, hujan deras, hingga banjir bandang semakin sering terjadi dan memperburuk ketahanan hidup masyarakat, terutama di negara berkembang yang sangat bergantung pada sektor pertanian dan perikanan (Oppenheimer *et al.*, 2019).

Sektor pertanian merupakan salah satu yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim. Menurut laporan IPCC (2022), perubahan suhu dan pola curah hujan berkontribusi besar terhadap penurunan produktivitas tanaman pangan utama seperti padi, jagung, dan gandum, khususnya di wilayah tropis. Siklus tanam menjadi tidak menentu, serangan hama meningkat, dan kebutuhan air irigasi semakin tinggi. Hal ini mengancam ketahanan pangan global, karena negara-negara tropis merupakan produsen utama berbagai komoditas pangan penting dunia. Jika tidak segera diantisipasi, ketidakstabilan ini bisa memicu krisis pangan dan konflik sosial yang lebih luas.

Dampak perubahan iklim tidak hanya terasa di daratan, tetapi juga sangat signifikan di wilayah laut. Kenaikan suhu laut dan peningkatan keasaman air akibat penyerapan karbon dioksida menyebabkan terganggunya ekosistem laut. Banyak spesies ikan tropis mulai bermigrasi ke perairan yang lebih dingin di lintang tinggi, yang berimplikasi pada ketimpangan produksi dan akses sumber daya perikanan antarnegara. Negara-negara di wilayah tropis, yang sebelumnya kaya akan keanekaragaman hayati laut, berisiko kehilangan stok ikan.

Ekosistem penting seperti terumbu karang juga mengalami kerusakan parah. Terumbu karang yang memutih akibat pemanasan laut menyebabkan berkurangnya habitat alami bagi banyak spesies laut. Kehilangan terumbu karang bukan hanya berarti hilangnya keanekaragaman hayati, tetapi juga berdampak pada ekonomi masyarakat pesisir yang bergantung pada ekowisata dan perikanan karang. Ini menunjukkan bahwa perubahan iklim memiliki efek berantai yang luas, dari lingkungan hingga kesejahteraan sosial-ekonomi masyarakat.

Untuk mengatasi ancaman ini, diperlukan upaya kolektif global yang melibatkan negara, sektor swasta, masyarakat sipil, dan lembaga internasional. Adaptasi melalui sistem pertanian dan perikanan yang lebih tahan iklim, restorasi ekosistem pesisir, serta transisi menuju energi bersih adalah langkah-langkah penting. Tanpa tindakan yang nyata dan menyeluruh, perubahan iklim akan terus memperbesar ketimpangan global dan mengancam keberlanjutan kehidupan di bumi.

2. Overeksploitasi dan Degradasi Ekosistem

Overeksploitasi dan degradasi ekosistem merupakan dua isu besar dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang telah membawa dampak serius terhadap kelestarian lingkungan. Kebutuhan pangan dan energi yang terus meningkat mendorong praktik eksploitasi besar-besaran terhadap lahan, hutan, dan laut. Di sektor pertanian, penggunaan metode intensif tanpa mempertimbangkan daya dukung lingkungan telah memperparah kondisi ekosistem. Penggunaan pestisida dan pupuk kimia sintetis secara berlebihan, misalnya, telah menyebabkan pencemaran tanah dan air, serta menurunkan kesuburan jangka panjang. Menurut Lal (2020), degradasi tanah akibat praktik pertanian yang tidak ramah

lingkungan telah menyebabkan hilangnya kemampuan tanah untuk mendukung produktivitas secara berkelanjutan.

Pembukaan lahan pertanian melalui penggundulan hutan secara besar-besaran menjadi penyebab utama hilangnya keanekaragaman hayati. Hutan hujan tropis, yang menjadi habitat berbagai spesies flora dan fauna endemik, terus mengalami penyusutan akibat alih fungsi lahan untuk perkebunan dan pertanian. Fragmentasi habitat akibat deforestasi menyebabkan banyak spesies kehilangan tempat tinggal dan sumber makanan, yang pada akhirnya mengganggu keseimbangan ekosistem secara menyeluruh. Dampaknya bukan hanya pada satwa liar, tetapi juga terhadap kualitas hidup manusia yang bergantung pada jasa ekosistem seperti penyimpanan air, penyerapan karbon, dan stabilitas iklim lokal.

Di wilayah perairan, masalah *Overfishing* atau penangkapan ikan secara berlebihan menjadi tantangan besar. Laporan The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA) 2022 mencatat bahwa lebih dari 34% stok ikan global dieksploitasi secara tidak berkelanjutan. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar praktik perikanan di dunia telah melampaui kapasitas regeneratif spesies laut. Teknologi perikanan modern yang mampu menangkap ikan dalam jumlah besar dalam waktu singkat justru mempercepat penurunan stok ikan, terutama ketika tidak dibarengi dengan sistem pengelolaan dan pengawasan yang ketat.

Praktik-praktik destruktif seperti penggunaan bahan peledak dan alat tangkap yang merusak dasar laut turut mempercepat kerusakan ekosistem. Teknik ini bukan hanya membunuh ikan target, tetapi juga menghancurkan karang, rumput laut, dan organisme kecil lainnya yang menjadi bagian penting dari rantai makanan laut. Praktik ini menjadi penyebab utama kerusakan habitat perikanan yang sulit dipulihkan dalam jangka pendek.

Untuk mengatasi tantangan overeksploitasi dan degradasi ekosistem, diperlukan reformasi besar dalam sistem produksi pangan, tata kelola sumber daya laut, dan pengawasan terhadap praktik-praktik eksploitasi SDA. Penerapan pendekatan ekosistem, konservasi keanekaragaman hayati, serta penguatan peran masyarakat lokal dan adat dalam pengelolaan sumber daya menjadi langkah penting. Tanpa upaya kolektif dan kebijakan yang tegas, SDA yang menjadi tulang punggung kehidupan manusia akan terus terancam dan berdampak negatif terhadap keberlanjutan generasi mendatang.

3. Ketimpangan Akses dan Hak atas SDA

Ketimpangan akses dan hak atas sumber daya alam (SDA) merupakan salah satu tantangan serius dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan dan keadilan sosial, terutama di negara-negara berkembang. Akses yang tidak setara terhadap lahan, air, dan sumber daya perikanan telah menciptakan kesenjangan sosial-ekonomi yang tajam di antara kelompok masyarakat, yang berada dalam posisi marginal, seperti masyarakat adat, perempuan, dan petani kecil, sering kali tidak memiliki jaminan hukum atas tanah atau wilayah perairan yang telah dikelola secara turun-temurun. Akibatnya, kelompok ini menjadi sangat rentan terhadap penggusuran dan kehilangan mata pencaharian ketika terjadi konflik kepentingan dengan pihak luar.

Ketiadaan hak legal formal ini membuat masyarakat lokal kesulitan untuk mempertahankan wilayahnya, terutama ketika berhadapan dengan investasi besar yang didukung oleh kekuatan politik dan modal. Fenomena land grabbing atau perampasan lahan dalam skala besar oleh perusahaan multinasional dan investor asing merupakan salah satu bentuk ketimpangan yang paling nyata. Banyak investasi yang dilakukan atas nama pembangunan ekonomi justru mengorbankan hak-hak tradisional masyarakat lokal tanpa konsultasi atau kompensasi yang memadai. Alih fungsi lahan untuk perkebunan skala besar, proyek infrastruktur, atau tambang telah menyebabkan banyak komunitas kehilangan sumber penghidupan dan identitas budayanya.

Ketimpangan dalam akses juga terlihat di sektor perikanan. Masyarakat pesisir tradisional sering kali tersingkirkan oleh perusahaan perikanan besar yang menguasai wilayah tangkap dan fasilitas pengolahan. Padahal, nelayan kecil berperan penting dalam menjaga keberlanjutan stok ikan melalui praktik tangkap yang lebih ramah lingkungan. Namun karena lemahnya pengakuan atas hak akses dan tidak adanya perlindungan hukum yang memadai, sering kalah bersaing dan mengalami degradasi ekonomi. Ketimpangan ini tidak hanya menciptakan konflik sosial, tetapi juga menghambat upaya konservasi karena masyarakat kehilangan insentif untuk menjaga sumber daya yang tidak lagi bisa akses secara adil.

Ketidakadilan gender turut memperburuk ketimpangan ini. Perempuan, khususnya di daerah pedesaan dan pesisir, kerap tidak diakui perannya dalam pengelolaan lahan dan SDA lainnya, meskipun kontribusinya signifikan. Dalam banyak komunitas, perempuan

memiliki tanggung jawab besar dalam kegiatan pertanian, pengelolaan air, dan kehutanan, namun minim keterlibatan dalam pengambilan keputusan. Hal ini membuatnya kesulitan mengakses bantuan, pelatihan, dan perlindungan hukum yang diperlukan untuk memberdayakan diri dalam pengelolaan SDA yang berkelanjutan.

Untuk mengatasi ketimpangan ini, diperlukan kebijakan agraria dan tata kelola SDA yang inklusif dan berbasis hak. Reformasi hukum untuk memperkuat pengakuan terhadap hak-hak adat dan hak kepemilikan komunitas lokal menjadi penting. Selain itu, pendekatan partisipatif dalam pengambilan keputusan serta perlindungan terhadap hak-hak perempuan harus diintegrasikan dalam setiap kebijakan dan proyek pembangunan. Hanya dengan keadilan akses dan kepemilikan, pengelolaan SDA dapat benar-benar berkelanjutan dan bermanfaat bagi seluruh lapisan masyarakat.

4. Globalisasi dan Perdagangan Internasional

Globalisasi dan perdagangan internasional telah membuka peluang besar bagi negara-negara berkembang untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi melalui ekspor komoditas pertanian dan perikanan. Namun, di balik manfaat ekonomi ini, terdapat tekanan besar terhadap keberlanjutan sumber daya alam (SDA). Permintaan tinggi dari pasar global mendorong negara-negara berkembang untuk meningkatkan produksi, sering kali dengan cara yang mengeksploitasi SDA secara berlebihan. Misalnya, konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit atau tambak udang sering dilakukan tanpa memperhatikan dampaknya terhadap lingkungan, seperti hilangnya keanekaragaman hayati, pencemaran air, dan degradasi tanah (Clapp, 2020).

Salah satu dampak negatif dari ketergantungan pada pasar ekspor adalah kerentanan sistem pangan domestik. Negara-negara yang terlalu fokus pada produksi untuk ekspor kerap mengabaikan kebutuhan pangan lokal, sehingga ketika terjadi fluktuasi harga di pasar internasional atau gangguan pasokan global, masyarakat lokal yang paling terdampak. Hal ini tercermin dalam krisis pangan global yang terjadi akibat pandemi COVID-19 dan konflik geopolitik, yang menyebabkan lonjakan harga pangan dan kesulitan akses di banyak negara berkembang. Ketergantungan ini juga menyebabkan hilangnya diversifikasi pertanian lokal, karena petani lebih memilih menanam komoditas ekspor

dibanding tanaman pangan tradisional yang lebih adaptif terhadap lingkungan setempat.

Ketimpangan standar antara negara maju dan berkembang juga menciptakan ketidakadilan dalam perdagangan global. Negara-negara maju cenderung memiliki regulasi lingkungan dan sosial yang ketat, sementara banyak negara berkembang masih memiliki sistem regulasi yang lemah dan tidak konsisten. Akibatnya, perusahaan multinasional sering memindahkan aktivitas produksi ke negara dengan standar rendah untuk menghindari biaya kepatuhan yang tinggi. Ini menjadikan negara berkembang sebagai "tempat pembuangan" praktik eksploitasi SDA secara tidak berkelanjutan, baik melalui deforestasi, penangkapan ikan berlebihan, maupun pencemaran industri.

Ketiadaan standar global yang mengikat juga memperburuk situasi ini. Meskipun beberapa skema sertifikasi sukarela seperti Fair Trade dan MSC (*Marine Stewardship Council*) telah diterapkan, namun cakupannya masih terbatas dan tidak cukup kuat untuk menekan eksploitasi besar-besaran. Di sisi lain, negara berkembang yang mencoba menerapkan standar lingkungan lebih tinggi justru sering kehilangan daya saing ekspor karena produknya menjadi lebih mahal dan sulit bersaing di pasar global. Hal ini menunjukkan pentingnya harmonisasi kebijakan lingkungan lintas negara yang adil dan inklusif.

Globalisasi perlu diarahkan ulang agar tidak hanya mengutamakan keuntungan ekonomi, tetapi juga memperhatikan aspek keberlanjutan dan keadilan sosial. Diperlukan kebijakan perdagangan internasional yang mendorong produksi berkelanjutan, memberikan insentif bagi pelaku usaha yang ramah lingkungan, dan memastikan keterlibatan masyarakat lokal dalam pengambilan keputusan. Kolaborasi antarnegara untuk menyusun standar lingkungan yang setara, serta transparansi dalam rantai pasok global, menjadi kunci untuk menciptakan perdagangan yang adil dan berkelanjutan bagi semua pihak.

5. Krisis Keamanan Pangan Global

Krisis keamanan pangan global menjadi isu yang semakin mendesak seiring meningkatnya tekanan akibat perubahan iklim, pandemi COVID-19, dan konflik geopolitik, seperti perang antara Rusia dan Ukraina. Ketiga faktor ini telah secara nyata mengganggu stabilitas sistem pangan dunia, yang selama ini sangat tergantung pada rantai pasok global yang kompleks dan saling terhubung. Gangguan dalam

distribusi pupuk, bahan bakar, dan bahan pangan pokok seperti gandum dan jagung menyebabkan kenaikan harga secara drastis dan kelangkaan produk, khususnya di negara-negara berpenghasilan rendah yang sangat bergantung pada impor. Dampaknya sangat terasa di kawasan Afrika, Asia Selatan, dan negara-negara pulau kecil yang menghadapi tekanan ekonomi dan perubahan iklim sekaligus.

Perubahan iklim juga berkontribusi besar terhadap krisis ini. Ketidakpastian cuaca, kekeringan panjang, dan banjir ekstrem telah merusak lahan pertanian dan mengganggu musim tanam. Laut yang menghangat dan naiknya tingkat keasaman juga memengaruhi sektor perikanan, yang merupakan sumber utama protein bagi jutaan orang. Ketika produksi terganggu, distribusi pangan menjadi tidak merata, dan harga naik secara global, kelompok paling rentan seperti petani kecil dan nelayan tradisional menjadi pihak yang paling terdampak. Ketimpangan akses terhadap pangan pun semakin nyata, memperburuk kemiskinan dan kelaparan (Altieri & Nicholls, 2020).

Pada konteks ini, komunitas internasional mulai mempertimbangkan ulang model produksi pangan yang selama ini dominan, yaitu sistem intensif dan terpusat yang rentan terhadap guncangan eksternal. Pendekatan alternatif seperti agroekologi mulai mendapatkan perhatian lebih luas. Agroekologi mempromosikan sistem pertanian yang ramah lingkungan, berbasis lokal, dan mengandalkan kearifan lokal dalam pengelolaan lahan dan sumber daya. Selain itu, praktik *urban farming* atau pertanian perkotaan juga semakin populer, terutama di kota-kota besar, karena dapat mengurangi ketergantungan terhadap rantai pasok panjang dan meningkatkan ketahanan pangan di tingkat komunitas.

Di sektor perikanan, pendekatan berbasis komunitas menjadi salah satu solusi yang dianggap efektif untuk mengatasi kerentanan. Perikanan berbasis komunitas menekankan pengelolaan sumber daya laut oleh masyarakat lokal dengan prinsip keberlanjutan, partisipasi, dan perlindungan ekosistem. Model ini tidak hanya memperkuat kapasitas masyarakat pesisir dalam mengelola SDA, tetapi juga memastikan bahwa hasil perikanan dapat dinikmati secara adil oleh komunitas yang menggantungkan hidup padanya. Selain itu, diversifikasi kegiatan ekonomi seperti pengolahan hasil tangkapan dan ekowisata juga menjadi pelengkap yang memperkuat daya tahan masyarakat terhadap krisis.

Respons terhadap krisis keamanan pangan global tidak bisa hanya bersifat jangka pendek seperti subsidi pangan atau distribusi darurat. Perlu transformasi menyeluruh dalam sistem pangan global menuju pendekatan yang lebih resilien, adil, dan berkelanjutan. Hal ini mencakup reformasi kebijakan, investasi dalam inovasi lokal, serta kolaborasi antara pemerintah, lembaga internasional, masyarakat sipil, dan sektor swasta. Dengan memperkuat ketahanan dari bawah ke atas mulai dari petani kecil, nelayan tradisional, hingga komunitas urban dunia dapat membangun sistem pangan yang lebih tangguh menghadapi krisis di masa depan.

B. Inovasi dan Teknologi Masa Depan

Pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) di abad ke-21 menghadapi tantangan luar biasa akibat tekanan demografis, perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan permintaan global terhadap pangan, air, dan energi. Seiring berkembangnya Revolusi Industri 4.0 dan 5.0, inovasi dan teknologi tidak hanya menjadi alat bantu, tetapi menjadi tulang punggung dalam transformasi tata kelola SDA yang lebih berkelanjutan, efisien, dan inklusif. Inovasi dalam bidang bioteknologi, teknologi informasi, sistem digital, serta pendekatan interdisipliner menjadi kunci untuk menjawab tantangan global seperti krisis pangan, kelangkaan air bersih, dan eksploitasi sumber daya perikanan dan pertanian. Pengembangan teknologi ini juga menciptakan peluang besar dalam efisiensi produksi, monitoring lingkungan, konservasi sumber daya, dan pemberdayaan masyarakat.

1. Tren Global Inovasi Teknologi dalam Pengelolaan SDA

a. Revolusi Industri 4.0 dan 5.0

Revolusi Industri 4.0 telah membawa perubahan signifikan dalam pengelolaan sumber daya alam (SDA) dengan menghadirkan teknologi digital yang memungkinkan efisiensi dan ketepatan dalam setiap proses. Teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *big data*, kecerdasan buatan (AI), dan robotika digunakan untuk memantau dan mengelola SDA secara real-time. Dalam sektor pertanian, misalnya, sensor IoT digunakan untuk mengukur kelembaban tanah dan kebutuhan nutrisi tanaman secara presisi, sehingga dapat mengurangi pemborosan

air dan pupuk. Di sektor perikanan, teknologi pemantauan berbasis satelit dan sistem analisis data dapat memprediksi pergerakan ikan dan mendeteksi zona penangkapan secara efisien, sehingga mengurangi tekanan terhadap populasi ikan dan menjaga keseimbangan ekosistem.

Transformasi ini tidak hanya menciptakan efisiensi, tetapi juga meningkatkan ketahanan dalam menghadapi perubahan iklim dan bencana alam. Sistem peringatan dini berbasis AI kini mampu memprediksi kekeringan, banjir, dan serangan hama dengan akurasi yang lebih tinggi. Dengan data besar dan algoritma pembelajaran mesin, para pengelola SDA dapat membuat keputusan berbasis bukti yang lebih akurat dan cepat. Hal ini secara langsung mendukung perencanaan jangka panjang yang lebih berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan pada pendekatan konvensional yang rentan terhadap kesalahan manusia dan perubahan iklim yang tidak terduga.

Revolusi Industri 5.0 hadir sebagai respons terhadap kritik terhadap orientasi efisiensi semata dari Revolusi 4.0. Konsep ini menekankan integrasi antara teknologi dan nilai-nilai kemanusiaan serta keberlanjutan ekosistem. Industri 5.0 mengajak pelaku industri untuk tidak hanya mengejar keuntungan, tetapi juga memperhatikan dampak sosial dan lingkungan. Dalam konteks pengelolaan SDA, pendekatan ini mendorong keterlibatan masyarakat lokal, transparansi data, dan perlindungan terhadap hak-hak ekosistem serta makhluk hidup lainnya.

b. Digitalisasi dan *Smart Agriculture*

Smart agriculture atau pertanian presisi merupakan manifestasi dari integrasi teknologi digital dalam pengelolaan pertanian yang berkelanjutan. Pendekatan ini memungkinkan petani untuk melakukan intervensi yang tepat berdasarkan kebutuhan spesifik lahan dan tanaman, melalui penggunaan sensor tanah, GPS, citra satelit, dan *drone*. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan *input* pertanian seperti air, pupuk, dan pestisida, tetapi juga mengurangi limbah dan dampak lingkungan. Dengan informasi yang dihasilkan secara real-time, petani dapat menentukan waktu tanam, panen, serta perlakuan

terhadap tanaman dengan lebih akurat, yang pada akhirnya meningkatkan produktivitas dan ketahanan pangan.

Contoh keberhasilan *smart agriculture* dapat dilihat di Jepang dan Israel, di mana penggunaan *drone* dan sistem pemetaan berbasis GPS mampu meningkatkan efisiensi pemupukan hingga 30% dan secara signifikan menurunkan biaya produksi. Teknologi *drone*, misalnya, digunakan untuk menyemprotkan pestisida dan pupuk secara merata serta hanya pada area yang benar-benar membutuhkan, sehingga tidak terjadi pemborosan. Teknologi ini juga membantu petani dalam mengakses lahan yang sulit dijangkau secara manual. Di samping itu, analitik data pertanian memungkinkan evaluasi kinerja lahan dari waktu ke waktu, sehingga proses budidaya menjadi lebih adaptif terhadap perubahan iklim dan kondisi pasar.

Di Indonesia, digitalisasi pertanian mulai dikembangkan melalui inisiatif pemerintah, salah satunya adalah platform AgriSMART yang dikembangkan oleh Badan Litbang Pertanian. Platform ini menyediakan data cuaca, kondisi tanah, dan rekomendasi teknis untuk membantu petani membuat keputusan yang lebih baik dan berbasis sains. Dalam konteks ketahanan pangan nasional, penerapan *smart agriculture* menjadi sangat penting, terutama untuk menjawab tantangan perubahan iklim dan kebutuhan akan produksi pangan yang efisien serta ramah lingkungan. Jika dikembangkan secara merata, digitalisasi pertanian ini dapat memperkuat daya saing petani kecil, memperluas akses pasar, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat pedesaan.

2. Inovasi di Sektor Pertanian

a. Pertanian Vertikal dan *Urban Farming*

Pertanian vertikal merupakan solusi inovatif yang memungkinkan pertanian dilakukan dalam ruang terbatas, seperti gedung tinggi atau atap bangunan di area perkotaan. Dengan sistem ini, tanaman ditanam secara vertikal dalam rak-rak bertingkat yang dilengkapi dengan pencahayaan LED, sistem irigasi otomatis, dan kontrol iklim yang memungkinkan tanaman tumbuh optimal meski tanpa lahan pertanian konvensional. Pertanian vertikal dapat dilakukan dengan berbagai metode,

termasuk hidroponik, aeroponik, dan aquaponik, yang memanfaatkan air dan nutrisi secara efisien. Sistem ini dapat menghasilkan produk pertanian segar, seperti sayuran dan tanaman daun, dalam skala besar meskipun berada di tengah kota yang padat (Despommier *et al.*, 2020).

Keunggulan utama pertanian vertikal adalah efisiensi penggunaan sumber daya. AeroFarms dan Plenty, dua perusahaan terkemuka di bidang pertanian vertikal yang berbasis di AS, telah menunjukkan bahwa teknik ini dapat mengurangi penggunaan air hingga 95% dibandingkan dengan metode pertanian tradisional yang membutuhkan irigasi luas. Dengan memanfaatkan sistem hidroponik, tanaman dapat tumbuh tanpa tanah, dan air yang digunakan dapat didaur ulang secara terus-menerus, sehingga mengurangi pemborosan sumber daya alam. Selain itu, pertanian vertikal dapat mengurangi jejak karbon karena dapat mengurangi kebutuhan akan transportasi hasil pertanian dari daerah pedesaan ke kota.

Pertanian vertikal sangat relevan di wilayah urban yang sering kali kekurangan lahan subur untuk pertanian konvensional. Inovasi ini memungkinkan kota-kota besar untuk memproduksi pangan secara lokal, mengurangi ketergantungan pada pasokan pangan dari luar kota yang rentan terhadap gangguan, seperti bencana alam atau krisis ekonomi. Urban farming ini juga membuka peluang baru dalam menciptakan ketahanan pangan di perkotaan dan memberikan manfaat sosial-ekonomi dengan menciptakan lapangan pekerjaan baru serta meningkatkan akses masyarakat terhadap pangan segar dan bergizi.

b. Bioteknologi dan CRISPR

Bioteknologi telah membawa perubahan signifikan dalam sektor pertanian, terutama dalam hal pengembangan tanaman dan ikan yang lebih tahan terhadap penyakit, tumbuh lebih cepat, dan memiliki kemampuan beradaptasi dengan perubahan iklim. Salah satu teknologi yang paling menjanjikan dalam hal ini adalah CRISPR-Cas9, sebuah teknik penyuntingan gen yang memungkinkan perubahan spesifik pada DNA organisme. Teknologi ini memberi kesempatan untuk meningkatkan kualitas tanaman dan hewan dalam waktu singkat tanpa perlu menunggu

proses evolusi alami yang memakan waktu lama. Dengan menggunakan CRISPR, para ilmuwan dapat mengembangkan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap hama dan penyakit, serta memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap perubahan iklim, seperti kekeringan dan suhu ekstrem.

Contoh nyata dari penerapan bioteknologi ini adalah pengembangan varietas padi "Inpari 42 Agritan" yang dilakukan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (BB Litbang Pertanian) di Indonesia. Padi ini memiliki kemampuan toleransi terhadap kekeringan yang lebih tinggi serta dapat tumbuh optimal meski di tanah dengan kandungan besi (Fe) yang tinggi, yang biasanya merugikan pertumbuhan padi. Inovasi ini sangat penting dalam menghadapi tantangan global terkait ketahanan pangan, mengingat perubahan iklim yang semakin mempengaruhi pola curah hujan dan ketersediaan air untuk irigasi.

Selain tanaman, CRISPR juga telah digunakan dalam pengembangan ikan yang lebih tahan terhadap penyakit dan mampu tumbuh lebih cepat. Inovasi dalam sektor akuakultur ini sangat penting untuk meningkatkan produksi pangan laut tanpa merusak ekosistem alami. Dengan bioteknologi, produsen dapat mengembangkan spesies ikan yang lebih efisien dalam menggunakan sumber daya dan memiliki nilai gizi yang lebih tinggi, membantu memenuhi kebutuhan pangan global yang terus meningkat. Teknologi ini, meskipun masih membutuhkan regulasi ketat, membuka peluang besar untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dan mampu menghadapi tantangan lingkungan yang semakin kompleks.

c. *Internet of Things (IoT) dan Big Data*

Internet of Things (IoT) dan *big data* telah membawa revolusi dalam cara pengelolaan pertanian dengan memungkinkan pemantauan kondisi pertanian secara real-time. IoT menggunakan sensor yang ditempatkan di berbagai titik di lahan pertanian, seperti pada tanaman, tanah, dan lingkungan sekitar. Sensor ini mengukur parameter penting seperti kelembapan tanah, suhu udara, kelembapan udara, dan kadar nutrisi tanah. Data yang dihasilkan kemudian dikirimkan secara langsung ke sistem berbasis cloud, yang memungkinkan petani

dan pengelola pertanian untuk memantau kondisi lahan kapan saja dan di mana saja (Shamshiri *et al.*, 2024).

Gambar 5. *Big Data*



Sumber: *Dqlab*

Salah satu keuntungan utama dari penggunaan IoT dalam pertanian adalah kemampuannya untuk memberikan informasi secara cepat dan tepat waktu. Misalnya, sensor yang mendeteksi kelembapan tanah yang rendah dapat memberi peringatan kepada petani untuk segera menyiram tanaman, sehingga dapat menghindari kerusakan akibat kekurangan air. Selain itu, deteksi dini terhadap serangan hama atau penyakit juga dapat mempercepat tindakan pengendalian, mengurangi penggunaan pestisida, dan meningkatkan efisiensi biaya serta hasil panen. Dengan pemantauan yang terus-menerus, petani dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya seperti air dan pupuk, mengurangi pemborosan, dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Big data berperan penting dalam menganalisis informasi yang dikumpulkan oleh IoT untuk memberikan wawasan yang lebih dalam dan akurat. Data yang terkumpul dari berbagai sumber, termasuk cuaca, pola tanah, dan prakiraan panen, dianalisis menggunakan algoritma dan model prediksi. Hasil

analisis ini memberikan rekomendasi berbasis data yang mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik, baik itu untuk mengelola risiko, meningkatkan hasil, atau merencanakan rotasi tanaman.

3. Inovasi di Sektor Perikanan

a. Akuakultur Berkelanjutan (*Aquaculture* 4.0)

Aquaculture 4.0 adalah konsep revolusioner dalam budidaya perikanan yang mengintegrasikan teknologi digital dan otomatisasi untuk menciptakan sistem perikanan yang lebih efisien, berkelanjutan, dan responsif terhadap perubahan lingkungan. Dalam sistem ini, penggunaan sensor untuk mengukur kualitas air, suhu, dan oksigen sangat penting untuk memantau kondisi lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan ikan. Sistem ini dapat secara otomatis menyesuaikan parameter lingkungan tersebut, seperti mengatur aerasi atau sirkulasi air, untuk memastikan lingkungan yang optimal bagi kesehatan ikan. Penggunaan sensor ini juga mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual, meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko kegagalan budidaya (Bartley, 2022).

Salah satu aspek utama dari *Aquaculture* 4.0 adalah penggunaan teknologi untuk pengelolaan pakan yang lebih efisien. Pemberian pakan berbasis sensor memastikan ikan hanya diberi makan sesuai dengan kebutuhan, mengurangi pemborosan pakan dan dampaknya terhadap kualitas air. Selain itu, teknologi ini juga dapat memantau pertumbuhan ikan secara individual atau kelompok, memberikan informasi yang berguna bagi pengelola untuk menyesuaikan jadwal pakan dan memastikan kesehatan ikan tetap terjaga. Hal ini juga mengurangi polusi lingkungan yang biasanya dihasilkan dari pakan yang tidak dimakan atau bahan kimia yang digunakan dalam sistem tradisional.

Pengawasan menggunakan kamera bawah air juga menjadi komponen penting dalam *Aquaculture* 4.0. Kamera ini memungkinkan pengelolaan untuk memantau aktivitas ikan secara real-time, mendeteksi potensi masalah seperti penyakit, pertumbuhan yang tidak merata, atau perubahan perilaku ikan yang dapat mengindikasikan masalah kesehatan. Teknologi ini

memungkinkan pengelola untuk merespons lebih cepat terhadap potensi ancaman, seperti wabah penyakit atau perubahan kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi hasil panen.

b. *Recirculating Aquaculture System* (RAS)

Recirculating Aquaculture System (RAS) adalah inovasi dalam budidaya ikan yang memanfaatkan sistem tertutup untuk mengelola air secara efisien. Dalam RAS, air yang digunakan dalam kolam atau tangki budidaya terus disaring dan digunakan kembali, mengurangi ketergantungan pada sumber air alami. Proses ini melibatkan beberapa tahapan, termasuk filtrasi mekanik, biologis, dan kimiawi, untuk menjaga kualitas air tetap optimal bagi ikan. Dengan cara ini, RAS mengurangi konsumsi air secara signifikan, menjadikannya solusi yang lebih ramah lingkungan, terutama di daerah yang kekurangan air atau memiliki sumber daya air terbatas.

Sistem ini juga berperan penting dalam mengurangi pencemaran lingkungan, karena dapat meminimalkan limbah organik yang dihasilkan selama proses budidaya ikan. Limbah dari ikan, seperti kotoran dan sisa pakan, diolah melalui proses filtrasi untuk mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem sekitar. Dengan mengontrol dan mengolah air secara tertutup, RAS meminimalkan polusi air dan meningkatkan keberlanjutan budidaya ikan. Selain itu, teknologi ini memungkinkan produksi ikan dengan kepadatan yang lebih tinggi per satuan volume, meningkatkan efisiensi penggunaan ruang dan sumber daya.

Keuntungan lain dari RAS adalah fleksibilitas dalam pengelolaan kualitas air, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik spesies ikan yang dibudidayakan. Parameter seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan kadar amonia dapat dikendalikan dengan lebih tepat, memungkinkan pengelolaan yang lebih optimal dan mengurangi risiko penyakit. Teknologi ini juga memungkinkan budidaya ikan di area yang sebelumnya tidak cocok untuk aquaculture konvensional, seperti daerah perkotaan atau wilayah dengan kualitas air yang kurang ideal.

c. E-DNA untuk Monitoring Ekosistem Laut

Environmental DNA (eDNA) adalah teknologi inovatif yang memungkinkan pemantauan keanekaragaman hayati laut tanpa harus menangkap atau mengganggu organisme secara langsung.

Metode ini bekerja dengan mendeteksi jejak DNA yang ditinggalkan oleh organisme dalam air, seperti fragmen sel atau material genetik lain yang terlarut. eDNA dapat diambil dari sampel air laut yang relatif kecil, kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi spesies yang ada di suatu lokasi. Teknologi ini menawarkan cara yang sangat efisien dan tidak invasif untuk memonitor ekosistem laut secara lebih luas dan mendalam (Bohmann *et al.*, 2014).

Keunggulan utama eDNA adalah kemampuannya untuk mendeteksi spesies langka atau terancam, serta spesies invasif yang mungkin sulit ditemukan dengan metode tradisional seperti pemantauan visual atau penangkapan. Dengan menggunakan eDNA, ilmuwan dapat memetakan distribusi spesies di berbagai wilayah perairan tanpa perlu melakukan penangkapan ikan yang dapat merusak ekosistem. Hal ini sangat penting dalam upaya pelestarian dan pengelolaan spesies yang rentan, serta untuk mencegah penyebaran spesies invasif yang dapat merusak keseimbangan ekosistem laut.

eDNA juga digunakan untuk memantau dampak perubahan iklim dan tekanan manusia terhadap ekosistem laut. Perubahan kondisi lingkungan, seperti kenaikan suhu air atau peningkatan keasaman laut, dapat mempengaruhi keberagaman spesies di ekosistem tersebut. Dengan menganalisis eDNA, para peneliti dapat mengidentifikasi perubahan dalam komunitas biota laut yang mungkin terjadi akibat faktor-faktor ini, sehingga memberikan informasi yang lebih akurat bagi pengelola perikanan dan pihak berwenang dalam merancang kebijakan konservasi dan pengelolaan sumber daya laut secara lebih tepat dan berbasis bukti.

C. Peran Pendidikan dan Penelitian dalam Pengelolaan SDA

Pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) yang berkelanjutan merupakan salah satu agenda global utama dalam menjawab tantangan krisis iklim, degradasi lingkungan, dan ketimpangan akses terhadap sumber daya. Dalam konteks ini, pendidikan dan penelitian menjadi dua komponen esensial yang memiliki peran strategis dalam membentuk kesadaran, mengembangkan pengetahuan, serta menciptakan solusi

inovatif untuk pengelolaan SDA yang adil dan berkelanjutan. Peran pendidikan tidak terbatas pada transfer ilmu pengetahuan, melainkan juga mencakup pengembangan sikap, nilai, dan etika lingkungan. Sementara itu, penelitian memberikan dasar ilmiah dan teknologi untuk mendukung pengambilan kebijakan, inovasi teknis, dan penguatan kapasitas kelembagaan.

1. Peran Pendidikan dalam Pengelolaan SDA

a. Pendidikan untuk Pembangunan Berkelanjutan (*Education for Sustainable Development - ESD*)

Pendidikan untuk Pembangunan Berkelanjutan (*Education for Sustainable Development - ESD*) berperan kunci dalam membentuk kesadaran dan perilaku yang mendukung pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) yang berkelanjutan. UNESCO (2019) menyatakan bahwa ESD tidak hanya fokus pada pengetahuan dan keterampilan, tetapi juga pada perubahan sikap dan perilaku individu untuk mengambil tindakan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan. Pendidikan ini membekali individu dengan kemampuan berpikir kritis, pengambilan keputusan, serta kemampuan untuk bekerja sama dalam menyelesaikan tantangan terkait dengan keberlanjutan, termasuk pengelolaan SDA. Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa generasi mendatang dapat mengelola sumber daya alam secara efisien dan berkelanjutan, tanpa merusak ekosistem.

Di Indonesia, implementasi ESD telah menjadi bagian integral dalam sistem pendidikan, dari tingkat dasar hingga perguruan tinggi. Salah satu contoh yang signifikan adalah Program Sekolah Adiwiyata yang diluncurkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Program ini bertujuan untuk menciptakan sekolah-sekolah yang ramah lingkungan dan mendorong partisipasi aktif siswa dalam kegiatan pelestarian lingkungan. Melalui kegiatan tersebut, siswa tidak hanya belajar tentang pentingnya menjaga lingkungan tetapi juga terlibat langsung dalam proyek-proyek yang berdampak positif, seperti pengelolaan sampah dan penanaman pohon.

ESD di Indonesia juga tercermin dalam kurikulum yang mengintegrasikan topik-topik keberlanjutan, seperti perubahan

iklim, pengelolaan air, dan pelestarian keanekaragaman hayati. Hal ini memungkinkan siswa untuk memahami hubungan antara tindakan manusia dan dampaknya terhadap SDA, serta pentingnya kebijakan yang mendukung keberlanjutan. Dengan demikian, pendidikan ini memberi landasan bagi siswa untuk menjadi agen perubahan dalam masyarakat yang lebih peduli terhadap keberlanjutan.

Pentingnya ESD dalam pengelolaan SDA juga tercermin dalam keterlibatan berbagai sektor, baik pemerintah, masyarakat, maupun sektor swasta, dalam mendukung pendidikan berkelanjutan. Keberhasilan ESD tidak hanya bergantung pada kurikulum pendidikan formal, tetapi juga pada partisipasi aktif semua pihak dalam menciptakan masyarakat yang lebih sadar lingkungan dan berkelanjutan. Program pendidikan seperti ini berperan dalam mempersiapkan masyarakat yang dapat mengelola SDA secara bijaksana, memastikan bahwa ekosistem dan sumber daya alam dapat dinikmati oleh generasi mendatang.

b. Integrasi Isu SDA dalam Kurikulum

Integrasi isu Sumber Daya Alam (SDA) dalam kurikulum pendidikan tinggi berperan yang sangat penting dalam membekali generasi mendatang dengan pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan untuk mengelola SDA secara berkelanjutan. Institusi pendidikan tinggi, terutama universitas, bertanggung jawab untuk menghasilkan Sumber Daya Manusia (SDM) yang kompeten dan terampil dalam bidang pengelolaan SDA. Dalam hal ini, banyak universitas di Indonesia yang telah menyadari pentingnya mengintegrasikan topik-topik lingkungan hidup, kehutanan, kelautan, agribisnis, dan perubahan iklim ke dalam kurikulum. Hal ini bertujuan agar mahasiswa dapat memahami tantangan yang dihadapi dalam pengelolaan SDA serta menerapkan solusi berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi yang relevan.

Contohnya, Universitas Gadjah Mada (UGM) telah lama memiliki berbagai program studi yang mendalami topik-topik terkait SDA, seperti ilmu lingkungan, pertanian, dan kehutanan. Program-program ini tidak hanya mencakup teori, tetapi juga mendorong penelitian dan aplikasi praktis yang dapat memberikan solusi konkret dalam mengelola SDA. Begitu juga

dengan IPB University, yang memiliki reputasi dalam bidang pertanian dan kehutanan. Universitas ini menawarkan berbagai program studi yang terfokus pada keberlanjutan, serta pusat riset yang mengembangkan inovasi dalam bidang agribisnis, pertanian berkelanjutan, dan teknologi kelautan. Dengan pendekatan ini, IPB berperan penting dalam menghasilkan lulusan yang siap untuk menghadapi masalah global seperti perubahan iklim dan degradasi lingkungan.

Universitas Indonesia (UI) juga menunjukkan komitmennya dalam integrasi isu SDA melalui berbagai program studi dan riset terkait perubahan iklim, kebijakan lingkungan, dan pengelolaan sumber daya alam. UI telah membangun kolaborasi antara fakultas-fakultas terkait untuk menyusun kurikulum yang mampu menanggapi tantangan lingkungan yang semakin kompleks. Selain itu, berbagai pusat riset yang dimiliki UI berfokus pada penelitian yang mendalam mengenai isu-isu keberlanjutan, pengelolaan air, dan perubahan iklim, memberikan kontribusi besar terhadap pengembangan solusi berbasis riset untuk masalah lingkungan.

Dengan integrasi isu SDA dalam kurikulum pendidikan tinggi, universitas-universitas ini berperan penting dalam mencetak profesional yang memiliki pemahaman yang mendalam mengenai tantangan dan solusi dalam pengelolaan SDA. Kurikulum yang berbasis pada ilmu pengetahuan dan teknologi ini tidak hanya mempersiapkan mahasiswa untuk menjadi ahli di bidangnya, tetapi juga menyiapkan untuk menjadi agen perubahan yang dapat membuat keputusan yang berdampak positif pada keberlanjutan SDA di masa depan. Inovasi dan riset yang dilakukan oleh universitas juga memberikan dampak positif bagi kebijakan dan praktek pengelolaan SDA di tingkat nasional maupun global.

c. Pendidikan Nonformal dan Pemberdayaan Masyarakat

Pendidikan nonformal berperan yang sangat penting dalam pemberdayaan masyarakat, terutama bagi kelompok yang terlibat langsung dengan pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA), seperti masyarakat adat, petani, dan nelayan. Program-program pendidikan nonformal ini sering kali berfokus pada peningkatan pemahaman dan keterampilan praktis yang diperlukan untuk

mengelola SDA dengan cara yang berkelanjutan. Melalui penyuluhan, pelatihan, dan kampanye lingkungan, masyarakat diajak untuk memahami pentingnya konservasi, efisiensi penggunaan sumber daya, serta penerapan praktik pertanian dan perikanan yang ramah lingkungan. Hal ini menjadi sangat relevan mengingat bahwa banyak komunitas yang bergantung pada SDA untuk mata pencaharian namun kurang memiliki pengetahuan yang cukup tentang cara pengelolaannya yang berkelanjutan.

Program seperti Sekolah Lapang Iklim (SLI) yang diluncurkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) merupakan contoh konkret dari pendidikan nonformal yang berfokus pada peningkatan kapasitas masyarakat dalam menghadapi perubahan iklim. Melalui SLI, petani dan nelayan dilatih untuk memahami dinamika iklim dan cuaca, serta bagaimana cara mengadaptasi kegiatan pertanian dan perikanan agar lebih tahan terhadap fluktuasi iklim yang tidak menentu. Pelatihan ini sangat efektif dalam membantu masyarakat meningkatkan ketahanan terhadap bencana alam, sekaligus mengurangi dampak perubahan iklim terhadap produksi pertanian dan perikanan.

Program pelatihan pemulihan ekosistem mangrove yang diselenggarakan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) juga memberikan dampak positif dalam meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya pelestarian ekosistem mangrove. Melalui pelatihan ini, masyarakat diajarkan cara menanam dan merawat mangrove, serta manfaatnya dalam mengurangi abrasi pantai, menjaga biodiversitas, dan meningkatkan kualitas lingkungan perairan. Program seperti ini memberdayakan masyarakat untuk menjadi agen perubahan dalam pemulihan ekosistem, yang pada gilirannya akan mendukung keberlanjutan SDA di wilayah pesisir.

Pendidikan nonformal semacam ini tidak hanya meningkatkan pengetahuan dan keterampilan masyarakat dalam mengelola SDA, tetapi juga memperkuat kapasitas adaptasi terhadap perubahan lingkungan yang terjadi. Melalui pendekatan yang bersifat partisipatif dan praktis, pendidikan nonformal berhasil membangun kesadaran kolektif akan pentingnya

keberlanjutan SDA, sekaligus memberikan solusi praktis untuk menghadapinya.

2. Peran Penelitian dalam Pengelolaan SDA

a. Penelitian sebagai Dasar Pengambilan Kebijakan

Penelitian ilmiah berperan yang sangat vital dalam merumuskan kebijakan pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) yang efektif dan tepat sasaran. Dalam konteks pengelolaan SDA, kebijakan yang diambil tanpa dukungan data dan bukti ilmiah yang kuat dapat berisiko gagal dalam mengatasi masalah yang ada, bahkan bisa berujung pada dampak negatif jangka panjang. Penelitian memberikan pemahaman mendalam mengenai kondisi lingkungan, potensi sumber daya, dan dampak dari aktivitas manusia terhadap ekosistem, sehingga kebijakan yang dibuat dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan realitas di lapangan.

Contohnya, penelitian yang dilakukan oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) mengenai degradasi terumbu karang di wilayah pesisir Indonesia telah memberikan data yang sangat berharga bagi pemerintah dalam merumuskan kebijakan rehabilitasi ekosistem laut. LIPI mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kerusakan terumbu karang seperti perubahan suhu laut, pencemaran, dan aktivitas manusia yang tidak berkelanjutan, seperti penangkapan ikan dengan bahan peledak. Berdasarkan hasil penelitian ini, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) kemudian mengembangkan kebijakan untuk rehabilitasi dan perlindungan terumbu karang yang lebih terarah dan berbasis pada kondisi nyata yang ada di lapangan.

Penelitian ilmiah juga dapat menyediakan indikator yang jelas untuk memantau efektivitas kebijakan yang sudah diterapkan. Misalnya, dengan adanya penelitian tentang perubahan kualitas air atau status populasi spesies yang terancam punah, pemerintah dapat mengevaluasi apakah kebijakan konservasi atau pemulihan ekosistem telah berhasil. Penelitian yang berkelanjutan juga memberikan umpan balik untuk penyesuaian kebijakan agar lebih relevan dengan dinamika yang terjadi di lapangan.

Penelitian juga dapat menjadi dasar bagi pembuatan kebijakan yang berbasis pada pendekatan ilmiah dan

berkelanjutan. Kebijakan pengelolaan SDA yang dibentuk tanpa dukungan penelitian dapat berpotensi mengabaikan keragaman sosial dan ekologis yang ada di suatu wilayah.

b. Inovasi Teknologi dan Pengembangan Metodologi

Penelitian ilmiah tidak hanya memberikan dasar bagi kebijakan, tetapi juga mendorong lahirnya berbagai inovasi teknologi yang dapat membantu pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) secara lebih efisien dan berkelanjutan. Salah satu contoh signifikan adalah pengembangan varietas tanaman yang tahan kekeringan, yang sangat penting untuk menghadapi tantangan perubahan iklim yang mengakibatkan penurunan ketersediaan air di banyak daerah. Melalui riset genetika tanaman, ilmuwan dapat menciptakan bibit yang lebih tangguh terhadap kondisi lingkungan ekstrem, memungkinkan produksi pangan yang lebih stabil meski dalam kondisi kekeringan (Shamshiri *et al.*, 2024).

Sistem irigasi presisi yang dihasilkan dari penelitian teknologi memberikan solusi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian. Sistem ini menggunakan sensor dan data analitik untuk mengatur pengairan berdasarkan kebutuhan spesifik tanaman, bukan berdasarkan jadwal tetap. Hal ini mengurangi pemborosan air, yang merupakan tantangan besar dalam pertanian konvensional, terutama di wilayah yang kekurangan sumber daya air. Penelitian dalam bidang ini juga dapat meningkatkan hasil pertanian dengan meminimalkan stres air pada tanaman.

Di sektor perikanan, *Recirculating Aquaculture System* (RAS) adalah contoh inovasi yang dihasilkan dari penelitian yang mendalam dalam pengelolaan sumber daya perairan. Teknologi ini memungkinkan budidaya ikan dalam sistem tertutup, di mana air yang digunakan dapat diproses dan disaring kembali untuk digunakan dalam siklus berikutnya. RAS tidak hanya mengurangi penggunaan air, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan karena mengurangi limbah yang dihasilkan oleh industri perikanan.

Inovasi dalam penggunaan bioindikator untuk monitoring kualitas lingkungan telah memungkinkan pengelola SDA untuk mengidentifikasi perubahan kondisi ekosistem secara lebih cepat dan akurat. Bioindikator, yang menggunakan organisme hidup

untuk mendeteksi perubahan kualitas air atau tanah, memungkinkan deteksi dini atas pencemaran atau degradasi lingkungan, sehingga tindakan konservasi dapat dilakukan sebelum kerusakan menjadi lebih parah. Inovasi-inovasi seperti ini merupakan hasil dari riset yang mendalam dan terus berkembang, yang membantu mengurangi tekanan terhadap SDA sekaligus meningkatkan produktivitas sektor-sektor yang bergantung pada alam.

c. Penelitian Interdisipliner dan Kolaboratif

Pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) yang efektif memerlukan pendekatan yang tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mempertimbangkan aspek sosial, ekonomi, dan ekologis secara bersamaan. Isu-isu yang berkaitan dengan SDA sangat kompleks, dan seringkali melibatkan interaksi antara faktor-faktor lingkungan, kebijakan sosial, serta dinamika ekonomi. Oleh karena itu, pendekatan penelitian interdisipliner dan kolaboratif menjadi krusial untuk merumuskan solusi yang komprehensif. Penelitian ini mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu untuk menghasilkan kebijakan yang tidak hanya berfokus pada teknologi atau konservasi semata, tetapi juga memperhatikan kesejahteraan sosial dan keberlanjutan ekonomi (Lazdinis *et al.*, 2019).

Salah satu contoh penting dari pendekatan ini dapat ditemukan dalam program-program yang dipromosikan oleh lembaga seperti CIFOR (*Center for International Forestry Research*) dan *World Agroforestry Centre* (ICRAF). Kedua lembaga ini telah mengembangkan model pengelolaan hutan dan pertanian yang dikenal dengan pendekatan *landscape* dan *agroforestry*. Pendekatan *landscape* mengharuskan peneliti untuk mempertimbangkan keseluruhan ekosistem dalam pengelolaan SDA, termasuk interaksi antara berbagai jenis penggunaan lahan, perubahan iklim, dan kebutuhan masyarakat. Model ini mencakup berbagai disiplin ilmu seperti ekologi, ekonomi, sosial, dan kebijakan, yang bekerja secara bersamaan untuk mencapai hasil yang lebih berkelanjutan.

Agroforestry, yang merupakan kombinasi antara pertanian dan kehutanan, juga menjadi salah satu solusi yang ditawarkan oleh CIFOR dan ICRAF. Pendekatan ini tidak hanya berfokus

pada pengelolaan lahan secara efisien untuk produksi pangan dan kayu, tetapi juga mempertimbangkan keseimbangan ekosistem, peningkatan ketahanan pangan, serta pemberdayaan masyarakat. Dengan menggabungkan pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu, agroforestry dapat menciptakan sistem yang lebih tahan terhadap perubahan iklim, sekaligus meningkatkan kesejahteraan sosial dan ekonomi masyarakat lokal.

Penelitian interdisipliner dan kolaboratif, seperti yang dilakukan oleh CIFOR dan ICRAF, menunjukkan betapa pentingnya kolaborasi antara berbagai bidang ilmu dalam mengelola SDA. Keberhasilan pengelolaan SDA yang berkelanjutan tidak hanya bergantung pada teknologi dan ilmu alam, tetapi juga pada pemahaman sosial-ekologis yang mendalam.

d. Penelitian Partisipatif Berbasis Komunitas

Penelitian partisipatif berbasis komunitas semakin diakui sebagai pendekatan yang efektif dalam pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA), karena melibatkan komunitas lokal dalam setiap tahap proses penelitian. Dalam pendekatan ini, peneliti bekerja sama dengan masyarakat untuk mengidentifikasi masalah yang relevan, merancang metodologi yang sesuai, serta mengimplementasikan solusi yang dihasilkan. Salah satu keuntungan utama dari pendekatan ini adalah keterlibatan langsung masyarakat dalam pengambilan keputusan, yang pada gilirannya meningkatkan rasa kepemilikan dan tanggung jawab terhadap pengelolaan SDA. Hal ini juga memperkuat kemampuan masyarakat untuk bertindak secara mandiri dalam mengelola dan melestarikan sumber daya yang ada di sekitar.

Salah satu contoh keberhasilan penelitian berbasis komunitas dapat dilihat pada program-program yang dilakukan di berbagai kawasan pesisir, di mana komunitas lokal sering kali menjadi garda terdepan dalam konservasi ekosistem laut dan pesisir. Dalam konteks ini, masyarakat tidak hanya menjadi subjek dalam penelitian, tetapi juga aktor utama yang berkontribusi dalam pengumpulan data dan pengambilan keputusan. Program seperti ini memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk berbagi pengetahuan lokal, yang sering kali

belum terekam dalam literatur ilmiah, namun sangat berharga dalam pengelolaan SDA yang berkelanjutan.

Penelitian berbasis komunitas juga memungkinkan peneliti untuk memahami secara lebih mendalam dinamika sosial dan budaya yang mempengaruhi penggunaan SDA. Dengan mengintegrasikan pengetahuan lokal, penelitian ini lebih mudah disesuaikan dengan konteks setempat, serta lebih diterima oleh masyarakat. Keberhasilan pendekatan ini sangat bergantung pada pembentukan hubungan yang saling percaya antara peneliti dan masyarakat, serta komitmen untuk bekerja sama dalam jangka panjang. Hasil penelitian yang dikembangkan bersama komunitas juga cenderung lebih relevan dan aplikatif dalam kehidupan sehari-hari.

Penelitian partisipatif berbasis komunitas dapat mempercepat implementasi solusi yang ditemukan karena masyarakat sudah terlibat sejak awal. Ini membantu menciptakan perubahan yang lebih berkelanjutan dan memperkuat kapasitas masyarakat untuk mengelola SDA secara lebih efektif. Dengan pendekatan ini, bukan hanya solusi teknis yang dihasilkan, tetapi juga pemberdayaan sosial yang memperkuat kemandirian masyarakat dalam mengelola dan melestarikan lingkungan.

D. Kesimpulan dan Rekomendasi

Manajemen sumber daya alam (SDA) merupakan elemen penting dalam mendukung keberlanjutan pembangunan, terutama pada sektor pertanian dan perikanan yang sangat bergantung pada kualitas dan kuantitas SDA. Dari pembahasan dalam buku ini, dapat disimpulkan bahwa SDA bukan hanya entitas fisik seperti tanah, air, dan keanekaragaman hayati, melainkan juga mencakup dimensi sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang kompleks. Pengelolaan SDA yang baik mensyaratkan pendekatan yang holistik dan integratif, menggabungkan prinsip keberlanjutan, efisiensi, partisipasi masyarakat, dan dukungan kebijakan yang memadai.

Pada konteks pertanian, tanah, air, dan keanekaragaman hayati menjadi fondasi produksi yang harus dikelola secara berkelanjutan. Degradasi tanah, krisis air, dan hilangnya keanekaragaman hayati akibat praktik pertanian intensif dan perubahan iklim menjadi tantangan besar

yang harus dihadapi dengan inovasi teknologi dan pendekatan agroekologi. Dalam sektor perikanan, tekanan terhadap sumber daya ikan, pencemaran perairan, dan perubahan iklim menuntut penerapan prinsip ekosistem dan konservasi berbasis komunitas agar stok perikanan tetap lestari.

Salah satu pendekatan strategis yang ditekankan dalam buku ini adalah pengelolaan terpadu SDA melalui konsep *integrated farming system*, agroforestri, dan akuaponik. Integrasi antara pertanian dan perikanan tidak hanya meningkatkan efisiensi sumber daya, tetapi juga menciptakan ketahanan ekonomi dan ekologi bagi masyarakat pedesaan. Sistem ini terbukti mampu mengurangi limbah, meningkatkan produktivitas lahan dan air, serta mendukung ketahanan pangan yang inklusif.

Kebijakan pemerintah berperan kunci dalam mendukung pengelolaan SDA yang berkelanjutan. Berbagai regulasi seperti Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup serta Peraturan Pemerintah tentang Pengelolaan Sumber Daya Air menjadi landasan penting dalam pelaksanaan manajemen SDA. Namun demikian, implementasi di lapangan masih menghadapi tantangan seperti lemahnya koordinasi antar lembaga, keterbatasan sumber daya manusia, dan rendahnya kepatuhan pelaku usaha terhadap standar lingkungan.

Peran aktif masyarakat dan sektor swasta juga tidak kalah penting. Inisiatif konservasi berbasis masyarakat seperti hutan desa, pertanian organik komunitas, dan kawasan konservasi laut berbasis adat menjadi contoh bahwa keterlibatan lokal dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan SDA. Di sisi lain, sektor swasta perlu mendorong praktik tanggung jawab sosial dan lingkungan melalui CSR, *green investment*, dan adopsi standar keberlanjutan seperti ISO 14001 dan GlobalGAP dalam produksi.

Pada tataran global, berbagai regulasi internasional seperti Konvensi Keanekaragaman Hayati (CBD), Agenda 2030 untuk Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), serta perjanjian Paris tentang perubahan iklim memberikan kerangka normatif dalam pengelolaan SDA. Indonesia sebagai bagian dari komunitas internasional memiliki tanggung jawab untuk mengimplementasikan komitmen tersebut ke dalam kebijakan nasional dan praktik lokal melalui perencanaan pembangunan yang rendah karbon dan berketahanan iklim.

Salah satu tantangan terbesar ke depan adalah krisis iklim yang mengubah pola produksi pertanian dan perikanan secara signifikan. Kenaikan suhu air laut, perubahan pola hujan, dan frekuensi bencana yang meningkat berpengaruh langsung terhadap produksi pangan dan kesejahteraan petani serta nelayan. Oleh karena itu, strategi adaptasi dan mitigasi harus terintegrasi dalam manajemen SDA, termasuk penggunaan varietas tahan iklim, efisiensi irigasi, diversifikasi usaha, serta pemantauan berbasis teknologi.

Inovasi dan teknologi masa depan berperan penting dalam menjawab tantangan tersebut. Penggunaan *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan (AI), *drone*, dan *big data* dalam pertanian presisi serta perikanan cerdas memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi tekanan terhadap SDA. Namun, adopsi teknologi ini membutuhkan dukungan dari pemerintah dalam bentuk pelatihan, insentif, dan pembangunan infrastruktur digital di kawasan pedesaan.

Pendidikan dan penelitian menjadi pilar utama dalam pembangunan kapasitas manajemen SDA. Perguruan tinggi, lembaga penelitian, dan pusat pelatihan harus didorong untuk berkolaborasi dengan pemerintah dan masyarakat dalam menghasilkan pengetahuan baru, teknologi tepat guna, serta model bisnis berkelanjutan. Kurikulum pendidikan harus memasukkan prinsip keberlanjutan lintas sektor agar generasi muda memahami kompleksitas pengelolaan SDA sejak dini.

Terdapat pula peluang besar dalam pengelolaan SDA yang dapat mendorong transformasi ekonomi hijau dan sirkular. Pendekatan ekonomi biru di sektor kelautan, pengembangan agrowisata, dan jasa lingkungan dari hutan serta kawasan konservasi dapat menjadi sumber pendapatan alternatif yang berkelanjutan bagi masyarakat. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan insentif ekonomi, pasar karbon, dan mekanisme pembayaran jasa lingkungan (PES) yang adil dan inklusif.

Dari studi kasus di berbagai daerah, terbukti bahwa pengelolaan SDA yang berbasis komunitas dan inovasi lokal mampu meningkatkan produktivitas, ketahanan pangan, dan konservasi lingkungan secara simultan. Keberhasilan tersebut dapat direplikasi dengan syarat adanya komitmen pemerintah daerah, kolaborasi multipihak, dan pendampingan teknis berkelanjutan.

Buku referensi ini merekomendasikan lima langkah strategis ke depan:

1. Memperkuat kelembagaan manajemen SDA di tingkat lokal dan nasional;
2. Memperluas adopsi teknologi ramah lingkungan dalam pertanian dan perikanan;
3. Memperkuat pendidikan, pelatihan, dan riset terapan;
4. Mendorong keterlibatan masyarakat dan swasta secara aktif;
5. Mengintegrasikan kebijakan lintas sektor dalam satu kerangka pembangunan berkelanjutan.

Untuk mendukung langkah-langkah di atas, pemerintah pusat dan daerah perlu memperkuat kerangka kebijakan dan regulasi, termasuk melalui harmonisasi aturan sektoral dan reformasi tata kelola. Pemanfaatan anggaran lingkungan dan dana transfer ke daerah harus diarahkan untuk memperkuat kapasitas kelembagaan, mempercepat adopsi teknologi, serta memperluas program konservasi berbasis masyarakat. Evaluasi dan pemantauan berkala juga penting untuk mengukur capaian keberlanjutan.

Sektor swasta dan investor juga harus diarahkan untuk berperan aktif dalam membiayai transisi hijau melalui skema pembiayaan hijau (*green finance*), investasi sosial, dan kemitraan pembangunan berkelanjutan. Platform digital dapat menjadi sarana penting untuk mempertemukan produsen dan pasar, serta memperluas akses petani dan nelayan terhadap informasi, modal, dan pelatihan. Keberhasilan pengelolaan SDA pertanian dan perikanan tidak hanya bergantung pada kebijakan dan teknologi, tetapi juga pada kesadaran kolektif, kemauan politik, dan nilai-nilai kearifan lokal. Buku ini menegaskan bahwa masa depan pertanian dan perikanan yang berkelanjutan bergantung pada sinergi seluruh pemangku kepentingan dalam menjaga, mengelola, dan memulihkan sumber daya alam demi kesejahteraan generasi sekarang dan mendatang.



DAFTAR PUSTAKA

- Adipu, Y. (2019). Profil kualitas air pada budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sistem bioflok dengan sumber karbohidrat gula aren. *Jurnal Mipa*, 8(3), 122–125.
- Agegehu, G., Abera, D., Desta, G., Rooyen, A. F. van, Mekonnen, K., Gebreyes, M., & Zerfu, E. (2023). *Current innovations in making site specific nutrient management*.
- Ahmadian, I. (2021). Produktivitas Budidaya Sistem Mina Padi Untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan. *Jurnal Akuatek*, 2(1), 1–6.
- Ahmed, N., & Turchini, G. M. (2021). Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126604.
- Aich, N., Nama, S., Biswal, A., & Paul, T. (2020). A review on recirculating aquaculture systems: Challenges and opportunities for sustainable aquaculture. *Innovative Farming*, 5(1), 17–24.
- Alifa, N. N., Zahidi, M. S., & IP, S. (2024). Pengembangan ekonomi biru sebagai strategi Indonesia menuju ekonomi maju. *Jurnal Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik*, 38(1), 48–65.
- Altieri, M. A. (2018). *Agroecology: The Science Of Sustainable Agriculture, Second Edition*. CRC Press. <https://books.google.co.id/books?id=vwTFDwAAQBAJ>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology and the reconstruction of a post-COVID-19 agriculture. *The Journal of Peasant Studies*, 47(5), 881–898.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 869–890.
- Amir, S., Setyono, B. D. H., Alim, S., & Amin, M. (2018). Aplikasi teknologi bioflok pada budidaya udang vaname (*Litopenaeus Vannamei*). *Prosiding Konferensi Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat Dan Corporate Social Responsibility (PKM-CSR)*, 1, 660–666.
- Anderson, D. A. (2024). *Environmental Economics and Natural*

- Resource Management*. Taylor & Francis.
<https://books.google.co.id/books?id=rX4IEQAAQBAJ>
- Ariadno, M. K. (2011). Sustainable Fisheries in Southeast Asia. *Indon. L. Rev.*, 1, 292.
- Aruan, N., & Irwanto, I. (2020). Implementasi Model Pengelolaan Hutan Rakyat Dengan Pola Agroforestri Berbasis Kemitraan. *Develop*, 4(2), 23–52.
- Bakker, K. (2010). Commons versus commodities: political ecologies of water privatization. In *Global political ecology* (pp. 361–384). Routledge.
- Bartley, D. M. (2022). *World Aquaculture 2020 – A brief overview*. Food & Agriculture Org.
<https://books.google.co.id/books?id=UsNfEAAAQBAJ>
- Basso, B., & Antle, J. (2020). Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nature Sustainability*, 3(4), 254–256.
- Becker, S., & Otto, D. (2019). Digital learning and sustainable development. *Encyclopedia of Sustainability in Higher Education*, 399–408.
- Bélanger, J., & Pilling, D. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. FAO;
- Bellido, J. M., Santos, M. B., Pennino, M. G., Valeiras, X., & Pierce, G. J. (2011). Fishery discards and bycatch: solutions for an ecosystem approach to fisheries management? *Hydrobiologia*, 670, 317–333.
- Blaber, S. J. M. (1999). *Fisheries management in developing countries*.
- Boerger, V., Bojic, D., Bosc, P., Clark, M., Dale, D., England, M., Hoogeveen, J., Koo-Oshima, S., Mejias Moreno, P., & Muchoney, D. (2021). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture—Systems at breaking point. Synthesis report 2021*.
- Bohmann, K., Evans, A., Gilbert, M. T. P., Carvalho, G. R., Creer, S., Knapp, M., Douglas, W. Y., & De Bruyn, M. (2014). Environmental DNA for wildlife biology and biodiversity monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(6), 358–367.
- Boyle, A. E., & Redgwell, C. (2021). *Birnie, Boyle, and Redgwell's International Law and the Environment*. Oxford University Press.
<https://books.google.co.id/books?id=DCs0EAAAQBAJ>
- Bringezu, S., & Bleischwitz, R. (2017). *Sustainable Resource Management: Global Trends, Visions and Policies*. Taylor &

- Francis. <https://books.google.co.id/books?id=7Kk0DwAAQBAJ>
- Brown, P., Lauder, H., & Cheung, S. Y. (2020). *The Death of Human Capital?: Its Failed Promise and How to Renew It in an Age of Disruption*. Oxford University Press. <https://books.google.co.id/books?id=SUD8DwAAQBAJ>
- Brussard, P. F., Reed, J. M., & Tracy, C. R. (1998). Ecosystem management: what is it really? *Landscape and Urban Planning*, 40(1–3), 9–20.
- Budiana, N. S. (2015). *Akuaponik Panen Sayur Bonus Ikan*. Penebar Swadaya Grup. <https://books.google.co.id/books?id=dslUCgAAQBAJ>
- Calicioglu, O., Flammini, A., Bracco, S., Bellù, L., & Sims, R. (2019). The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions. *Sustainability*, 11(1), 222.
- Cheung, W. W. L., Jones, M. C., Lam, V. W. Y., D Miller, D., Ota, Y., Teh, L., & Sumaila, U. R. (2017). Transform high seas management to build climate resilience in marine seafood supply. *Fish and Fisheries*, 18(2), 254–263.
- Clapp, J. (2020). *Food*. Polity Press. <https://books.google.co.id/books?id=yy3fDwAAQBAJ>
- Compant, S., Samad, A., Faist, H., & Sessitsch, A. (2019). A review on the plant microbiome: ecology, functions, and emerging trends in microbial application. *Journal of Advanced Research*, 19, 29–37.
- Connor, R. (2015). *The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://books.google.co.id/books?id=zQV1CQAAQBAJ>
- Crawford, B. R. (2009). *Factors influencing the success of community-based marine protected areas in North Sulawesi Indonesia*. University of Rhode Island.
- Despommier, D., Giacomelli, G. A., & Carter, M. (2020). *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century (Tenth Anniversary Edition)*. Picador. <https://books.google.co.id/books?id=qAqdzAEACAAJ>
- Ding, Q., Chen, X., Hilborn, R., & Chen, Y. (2017). Vulnerability to impacts of climate change on marine fisheries and food security. *Marine Policy*, 83, 55–61.
- Doney, S. C., Busch, D. S., Cooley, S. R., & Kroeker, K. J. (2020). The

- impacts of ocean acidification on marine ecosystems and reliant human communities. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 83–112.
- Dubois, O. (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk*.
- Einarsson, Á., & Óladóttir, Á. D. (2020). *Fisheries and Aquaculture: The Food Security of the Future*. Academic Press. <https://books.google.co.id/books?id=lnHhDwAAQBAJ>
- Fadilla, M., Nurmawati, E., Fasa, M. I., & Suharto, S. (2022). Peran Sumber Daya Alam Bagi Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia Dalam Perspektif Islam. *JEKSYAH: Islamic Economics Journal*, 2(01), 54–63.
- Fairhurst, T. (2007). *Rice: A Practical Guide to Nutrient Management*. International Rice Research Institute. <https://books.google.co.id/books?id=3rYPZuTZyUIC>
- Fernholz, K., Bowyer, J., Stai, S., Bratkovich, S., & Howe, J. (2011). *Differences between the Forest Stewardship Council (FSC) and Sustainable Forestry Initiative (SFI) certification standards for forest management*. Dovetail Partners, Incorporated.
- Fitria, E. A., Utama, A. D., Suhendra, D., Harahap, E. J., P, P. R. S., Karina, I., Aisyah, S., Mustamu, N. E., & Rahman, A. (2024). *Pertanian Berkelanjutan*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah. <https://books.google.co.id/books?id=RMoHEQAAQBAJ>
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., & West, P. C. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342.
- Garcia, S. M., Rice, J., & Charles, A. (2014). Governance of marine fisheries and biodiversity conservation: The integration challenge. *Governance of Marine Fisheries and Biodiversity Conservation: Interaction and Coevolution*, 37–52.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- Gielen, D., Gorini, R., Leme, R., Prakash, G., Wagner, N., Janeiro, L., Collins, S., Kadir, M., Asmelash, E., & Ferroukhi, R. (2021). *World energy transitions outlook: 1.5° c pathway*.
- Gillett, R. (2009). *Fisheries in the Economies of the Pacific Island*

- Countries and Territories*. Asian Development Bank. <https://books.google.co.id/books?id=BR0pBQAAQBAJ>
- Giri, C. (2021). Recent advancement in mangrove forests mapping and monitoring of the world using earth observation satellite data. In *Remote Sensing* (Vol. 13, Issue 4, p. 563). MDPI.
- Gliessman, S. R. (2021). *Package Price Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems, Third Edition*. CRC Press. <https://books.google.co.id/books?id=rYUfEAAAQBAJ>
- Golam, K., Haroon Yousuf, A. K., & Dayanthi, N. (2017). Climate change impacts on tropical and temperate fisheries, aquaculture, and seafood security and implications-A review. *Livestock Research for Rural Development*, 29, 1–29.
- Gorjian, S., Fakhraei, O., Gorjian, A., Sharafkhani, A., & Aziznejad, A. (2022). Sustainable food and agriculture: employment of renewable energy technologies. *Current Robotics Reports*, 3(3), 153–163.
- Grafton, R. Q., Williams, J., Perry, C. J., Molle, F., Ringler, C., Steduto, P., Udall, B., Wheeler, S. A., Wang, Y., & Garrick, D. (2018). The paradox of irrigation efficiency. *Science*, 361(6404), 748–750.
- Griffin, W., Wang, W., & de Souza, M. C. (2019). The sustainable development goals and the economic contribution of fisheries and aquaculture. *FAO Aquaculture Newsletter*, 60, 51–52.
- Gustiana, N., Aravik, H., & Meriyati, M. (2022). Peran Pembiayaan Kredit Usaha Rakyat (KUR) Syariah Terhadap Perkembangan Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) di Bank Sumsel Babel Syariah Kantor Cabang PIM Palembang. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Perbankan Syariah (JIMPA)*, 2(2), 341–350.
- Halpern, B. S., Frazier, M., Afflerbach, J., Lowndes, J. S., Micheli, F., O'Hara, C., Scarborough, C., & Selkoe, K. A. (2019). Recent pace of change in human impact on the world's ocean. *Scientific Reports*, 9(1), 11609.
- Harris, R., Williams, P., & Griffin, T. (2016). *Sustainable Tourism*. Routledge. <https://books.google.co.id/books?id=zioIvgAACAAJ>
- Herrero, M., Wiersenius, S., Henderson, B., Rigolot, C., Thornton, P., Havlík, P., De Boer, I., & Gerber, P. J. (2015). Livestock and the environment: what have we learned in the past decade? *Annual Review of Environment and Resources*, 40(1), 177–202.
- Hilborn, R., Amoroso, R. O., Anderson, C. M., Baum, J. K., Branch, T. A., Costello, C., De Moor, C. L., Faraj, A., Hively, D., & Jensen,

- O. P. (2020). Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(4), 2218–2224.
- Hughes, A. C., & Grumbine, R. E. (2023). The Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework: what it does and does not do, and how to improve it. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1281536.
- Imron, B. A. (2013). Implementasi Dan Permasalahan Model Co-Manajemen Dalam Pengelolaan Sumberdaya Perikanan Implementation and Co-Management Model Issues in Fisheries. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 4(1), 43–55.
- Kabuei, G. P., & Kallevis, C. H. (2014). Integrated Farming System: an ideal approach for developing more economically and environmentally sustainable farming systems for the Eastern Himalayan Region. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84(3), 356–362.
- Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldó, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640–652.
- Kassam, A., Friedrich, T., & Derpsch, R. (2019). Global spread of conservation agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1), 29–51.
- Kay, M., Bunning, S., Burke, J., Boerger, V., Bojic, D., Bosc, P.-M., Clark, M., Dale, D., England, M., & Hoogeveen, J. (2022). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture 2021. Systems at breaking point*. FAO.
- Khoury, C. K., Achicanoy, H. A., Bjorkman, A. D., Navarro-Racines, C., Guarino, L., Flores-Palacios, X., Engels, J. M. M., Wiersema, J. H., Dempewolf, H., & Sotelo, S. (2016). Origins of food crops connect countries worldwide. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1832), 20160792.
- Kittinger, J. N., Teh, L. C. L., Allison, E. H., Bennett, N. J., Crowder, L. B., Finkbeiner, E. M., Hicks, C., Scarton, C. G., Nakamura, K., & Ota, Y. (2017). Committing to socially responsible seafood. *Science*, 356(6341), 912–913.
- Koh, T., Lye, L. H., & Lum, S. (2023). *Peace With Nature: 50 Inspiring Essays On Nature And The Environment*. World Scientific Publishing Company.

- <https://books.google.co.id/books?id=nVjcEAAAQBAJ>
- Kuhlman, T., & Farrington, J. (2010). What is sustainability? *Sustainability*, 2(11), 3436–3448.
- Kumar, A. (2020). CBD's Global Biodiversity Outlook 5: Final Assessment of Aichi Biodiversity Targets and Beyond. *Asian Biotechnology & Development Review*, 22.
- Kumar, M. S., Reddy, G. C., Phogat, M., & Korav, S. (2018). Role of bio-fertilizers towards sustainable agricultural development: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 1915–1921.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895.
- Lal, R. (2020). Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(5), 123A-124A.
- Lampkin, N., Pearce, B., Leake, A., Creissen, H., Gerrard, C. L., Gerling, R., Lloyd, S., Padel, S., Smith, J., & Smith, L. (2015). *The role of agroecology in sustainable intensification*.
- Lazdinis, M., Angelstam, P., & Pülzl, H. (2019). Towards Sustainable Forest Management in the European Union through polycentric forest governance and an integrated landscape approach. *Landscape Ecology*, 34, 1737–1749.
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60–68.
- Lindholm-Lehto, P. (2023). Water quality monitoring in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 3(2), 113–131.
- Linger, H., Aarons, J., McShane, P., & Burstein, F. (2013). *A knowledge management framework for sustainable development: A case of natural resource management policy work in Indonesia*.
- Lipper, L., McCarthy, N., Zilberman, D., Asfaw, S., & Branca, G. (2017). *Climate Smart Agriculture: Building Resilience to Climate Change*. Springer International Publishing.
<https://books.google.co.id/books?id=gtpCDwAAQBAJ>
- Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Fiala, M. (2016). Water Footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environment*, 548, 236–251.
- Marti-Quijal, F. J., Remize, F., Meca, G., Ferrer, E., Ruiz, M.-J., & Barba, F. J. (2020). Fermentation in fish and by-products

- processing: An overview of current research and future prospects. *Current Opinion in Food Science*, 31, 9–16.
- Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Skea, J., Buendía, E. C., Zhai, P., & Roberts, D. (2019). Climate change and land. *IPCC Report*.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., & Gomis, M. I. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2(1), 2391.
- Mills, M., Weeks, R., Pressey, R. L., Gleason, M. G., Eisma-Osorio, R.-L., Lombard, A. T., Harris, J. M., Killmer, A. B., White, A., & Morrison, T. H. (2015). Real-world progress in overcoming the challenges of adaptive spatial planning in marine protected areas. *Biological Conservation*, 181, 54–63.
- Montanarella, L., Pennock, D., Mckenzie, N., Alavipanah, S. K., Alegre, J., Alshankiti, A., Arrouays, D., Aulakh, M. S., Badraoui, M., & Costa, I. dos S. B. (2015). *The Status of the World's Soil Resources (Technical Summary)*. Food and agriculture organization of the united nations.
- Nair, P. K. R., & Garrity, D. (2014). *Agroforestry - The Future of Global Land Use*. Springer Netherlands. <https://books.google.co.id/books?id=h3fYoQEACAAJ>
- Nampasnea, F., & Seipalla, B. (2023). Konservasi Sumber Daya Alam Hayati Berbasis Kearifan Lokal Pada Beberapa Negeri Di Kecamatan Leihitu Barat, Kabupaten Maluku Tengah. *Jurnal Hutan Tropis*, 11(2), 189–197.
- Nishitani, K., Jannah, N., & Kaneko, S. (2017). Does corporate environmental performance enhance financial performance? An empirical study of Indonesian firms. *Environmental Development*, 23, 10–21.
- Nurlaela, E. (2023). Penangkapan Ikan Terukur: tantangan dan penerapan. *Pengelolaan Sumber Daya Perikanan Laut Berkelanjutan*. Penerbit BRIN, 267–314.
- OECD. (2017). *Water risk hotspots for agriculture*.
- Oppenheimer, M., Glavovic, B., Hinkel, J., Van de Wal, R. S. W., Magnan, A., Abd-Elgawad, A., & Sebesvari, Z. (2019). *The ocean and cryosphere in a changing climate*.
- Ostrom, E. (2015). *Governing the Commons*. Cambridge University

- Press. <https://books.google.co.id/books?id=daKNCgAAQBAJ>
- Parmesan, C., Morecroft, M. D., & Trisurat, Y. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. GIEC.
- Parry, M. L. (2007). *Climate Change 2007 - Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press. <https://books.google.co.id/books?id=TNo-SeGpn7wC>
- Parsa, S., Morse, S., Bonifacio, A., Chancellor, T. C. B., Condori, B., Crespo-Pérez, V., Hobbs, S. L. A., Kroschel, J., Ba, M. N., & Rebaudo, F. (2014). Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(10), 3889–3894.
- Pauly, D., Alder, J., Bennett, E., Christensen, V., Tyedmers, P., & Watson, R. (2003). The future for fisheries. *Science*, *302*(5649), 1359–1361.
- Pauly, D., & Zeller, D. (2016). Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. *Nature Communications*, *7*(1), 10244.
- Pauly, D., & Zeller, D. (2017). Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture (SOFIA 2016). *Marine Policy*, *77*, 176–181.
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V, Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). *The assessment report on pollinators, pollination and food production: summary for policymakers*. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V, Flora, C. B., Godfray, H. C. J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., & Morris, C. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, *1*(8), 441–446.
- Rieckmann, M. (2017). *Education for Sustainable Development Goals: learning objectives*. UNESCO Publishing. <https://books.google.co.id/books?id=Fku8DgAAQBAJ>
- Rokhmawati, A., Sathye, M., & Sathye, S. (2015). The effect of GHG emission, environmental performance, and social performance on financial performance of listed manufacturing firms in Indonesia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *211*, 461–470.

- Rosset, P. M., & Altieri, M. A. (2017). *Agroecology: science and politics*.
- Sachs, J. (2022). *Sustainable Development Report 2022*. Cambridge University Press. <https://books.google.co.id/books?id=N5h-EAAAQBAJ>
- Sachs, J. D. (2015). *The Age of Sustainable Development*. Columbia University Press. <https://books.google.co.id/books?id=nrBtDQAAQBAJ>
- Seto, K. C., Golden, J. S., Alberti, M., & Turner, B. L. (2017). Sustainability in an urbanizing planet. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8935–8938.
- Shamshiri, R. R., Shafian, S., Hameed, I. A., & Grichar, W. J. (2024). *Precision Agriculture: Emerging Technologies*. IntechOpen. <https://books.google.co.id/books?id=mhEhEQAAQBAJ>
- Simo, A., Dzitac, S., Duțu, A., & Pandelica, I. (2023). Smart Agriculture in the Digital Age: A Comprehensive IoT-Driven Greenhouse Monitoring System. *International Journal of Computers Communications & Control*, 18(6).
- Siregar, M. A. R. (2023). *Peningkatan Produktivitas Pertanian Melalui Penerapan Sistem Pertanian Terpadu*.
- Tacon, A. G. J., & Hasan, M. R. (2007). Global synthesis of feeds and nutrients for sustainable aquaculture development. *FAO Fisheries Technical Paper*, 497, 3.
- Tanaka, Y. (2023). *The International Law of the Sea*. Cambridge University Press. <https://books.google.co.id/books?id=WsaoEAAAQBAJ>
- Tittonell, P. (2014). Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 53–61.
- Tom, A. P., Jayakumar, J. S., Biju, M., Somarajan, J., & Ibrahim, M. A. (2021). Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: A review. *Energy Nexus*, 4, 100022.
- Triwanto, J. (2024). *Peran Agroforestri dalam Ketahanan Pangan dan Kelestarian Lingkungan Secara Berkelanjutan*. UMMPress. <https://books.google.co.id/books?id=YJ32EAAAQBAJ>
- Uhlenbrook, S. (2019). *The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind*.
- Utojo, Mustafa, A., & Hasnawi, H. (2011). Peruntukan Kawasan Pesisir

- Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan Sebagai Lokasi Pengembangan Budidaya Tambak Ramah Lingkungan. *Jurnal Riset Akuakultur*, 6(2), 325–339.
- Van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural *input-output* combinations. *Field Crops Research*, 52(3), 197–208.
- Wahyuni, S. (2018). *Biogas: Hemat Energi Pengganti Listrik, BBM, dan Gas Rumah Tangga*. AgroMedia. <https://books.google.co.id/books?id=bjdZDwAAQBAJ>
- Wattie, G. G. R. W., & Sukendah, S. (2023). Peran Penting Agroforestri Sebagai Sistem Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Ilmu Pertanian Dan Perkebunan*, 5(1), 30–38.
- Weil, R. R., Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (Vol. 1104). Pearson London, UK.
- Yuliani, S., & Herminasari, N. S. (2017). Partisipasi Masyarakat Dalam Pengelolaan Hutan Mangrove Di Desa Segarajaya, Kecamatan Tarumajaya Kabupaten Bekasi. *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 6(2), 456351.
- Zhong, J., & Pei, J. (2024). Carbon border adjustment mechanism: a systematic literature review of the latest developments. *Climate Policy*, 24(2), 228–242.

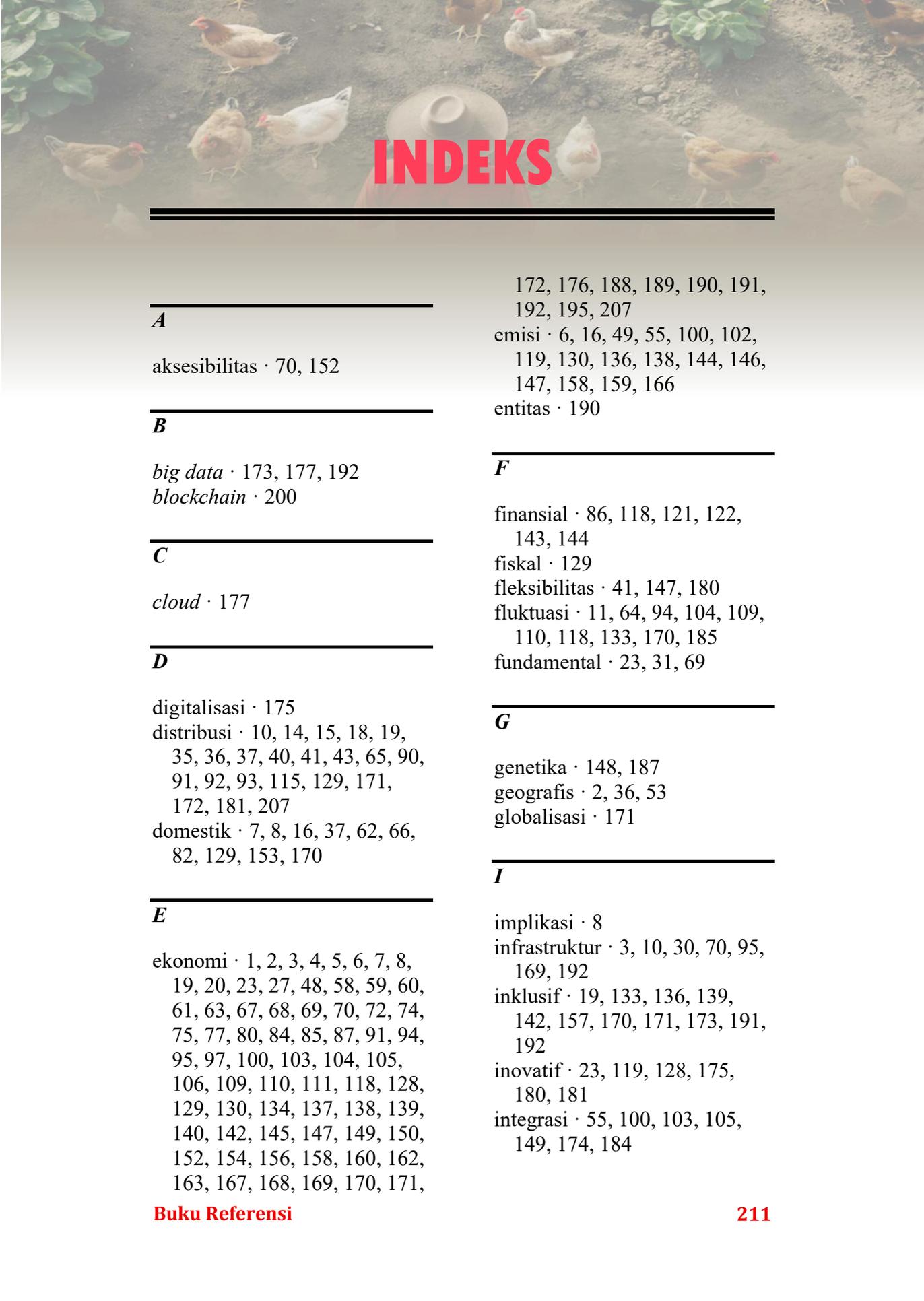


GLOSARIUM

Agribisnis	Kegiatan yang melibatkan seluruh rantai usaha mulai dari produksi, pengolahan, distribusi, hingga pemasaran hasil pertanian, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan daya saing dalam sektor pertanian.
Akuakultur	Proses budidaya organisme air seperti ikan, udang, dan rumput laut dalam lingkungan terkendali dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan pangan dan industri tanpa merusak ekosistem perairan alami.
Analisis SWOT	Teknik perencanaan strategis yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman dalam suatu organisasi atau proyek untuk merumuskan strategi yang efektif.
Biodiversitas	Keanekaragaman bentuk kehidupan di bumi, termasuk berbagai spesies tanaman, hewan, dan mikroorganisme yang saling berinteraksi dalam suatu ekosistem, yang penting untuk keseimbangan alam.
Bioekonomi	Sistem ekonomi yang mengandalkan pemanfaatan sumber daya biologis secara berkelanjutan untuk menciptakan nilai ekonomi tanpa merusak lingkungan, dengan fokus pada produksi pangan, energi, dan bahan baku berbasis biologi.
Budidaya	Proses pengelolaan dan pemeliharaan organisme hidup, baik tanaman maupun hewan, dengan tujuan untuk meningkatkan produksi secara efisien dan berkelanjutan sesuai dengan kebutuhan pasar.
Diversifikasi	Strategi untuk memperluas jenis usaha atau komoditas yang dikelola, guna mengurangi ketergantungan pada satu sumber pendapatan dan

	menghindari risiko kerugian besar akibat perubahan pasar.
Ekologi	Ilmu yang mempelajari hubungan antara organisme dengan lingkungan fisiknya serta interaksi antar spesies dalam suatu ekosistem yang mendukung keseimbangan alam.
Ekosistem	Suatu sistem yang terdiri dari komunitas makhluk hidup dan komponen non-hidup seperti air, udara, dan tanah yang saling berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain dalam mendukung kelangsungan hidup.
Erosi	Proses pengikisan tanah yang terjadi akibat faktor alami seperti air atau angin, atau aktivitas manusia seperti pertanian, yang dapat mengurangi kesuburan tanah dan menyebabkan kerusakan lingkungan.
Fertilitas	Kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman dengan menyediakan unsur hara yang cukup bagi kebutuhan tanaman agar dapat tumbuh dengan optimal.
Hama	Organisme yang merusak atau mengganggu pertumbuhan tanaman, hasil pertanian, atau keberlangsungan ekosistem, sehingga memerlukan pengendalian untuk menjaga keseimbangan alam.
Intensifikasi	Upaya meningkatkan produksi dengan cara meningkatkan penggunaan <i>input</i> seperti pupuk, teknologi, dan pengelolaan yang lebih efisien pada lahan yang ada, untuk memenuhi kebutuhan pangan yang terus berkembang.
Irigasi	Sistem pengairan yang digunakan untuk memasok air secara buatan ke lahan pertanian, guna memastikan ketersediaan air bagi tanaman, terutama di daerah yang kekurangan air alami.
Karbonisasi	Proses pengendapan atau penyimpanan karbon dalam tanah atau biomassa sebagai bagian dari upaya mitigasi perubahan iklim yang dapat membantu menstabilkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer.

Konservasi	Perlindungan, pemeliharaan, dan pemulihan sumber daya alam, baik flora, fauna, maupun habitatnya, dengan tujuan untuk mempertahankan kelestariannya agar tetap dapat dimanfaatkan oleh generasi mendatang.
Mitigasi	Upaya untuk mengurangi atau menghindari dampak buruk dari perubahan iklim atau kerusakan lingkungan, melalui tindakan pencegahan dan perbaikan untuk menjaga kualitas ekosistem.
Nutrisi	Zat yang dibutuhkan oleh organisme untuk tumbuh dan berkembang, seperti vitamin, mineral, protein, lemak, dan karbohidrat, yang diperoleh dari pangan yang dikonsumsi oleh tanaman, hewan, atau manusia.
<i>Overfishing</i>	Aktivitas penangkapan ikan secara berlebihan yang melebihi kapasitas reproduksi ikan di perairan, sehingga mengancam keberlanjutan populasi ikan dan keseimbangan ekosistem laut.



INDEKS

A

aksesibilitas · 70, 152

B

big data · 173, 177, 192

blockchain · 200

C

cloud · 177

D

digitalisasi · 175

distribusi · 10, 14, 15, 18, 19,
35, 36, 37, 40, 41, 43, 65, 90,
91, 92, 93, 115, 129, 171,
172, 181, 207

domestik · 7, 8, 16, 37, 62, 66,
82, 129, 153, 170

E

ekonomi · 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
19, 20, 23, 27, 48, 58, 59, 60,
61, 63, 67, 68, 69, 70, 72, 74,
75, 77, 80, 84, 85, 87, 91, 94,
95, 97, 100, 103, 104, 105,
106, 109, 110, 111, 118, 128,
129, 130, 134, 137, 138, 139,
140, 142, 145, 147, 149, 150,
152, 154, 156, 158, 160, 162,
163, 167, 168, 169, 170, 171,

172, 176, 188, 189, 190, 191,
192, 195, 207

emisi · 6, 16, 49, 55, 100, 102,
119, 130, 136, 138, 144, 146,
147, 158, 159, 166

entitas · 190

F

finansial · 86, 118, 121, 122,
143, 144

fiskal · 129

fleksibilitas · 41, 147, 180

fluktuasi · 11, 64, 94, 104, 109,
110, 118, 133, 170, 185

fundamental · 23, 31, 69

G

genetika · 148, 187

geografis · 2, 36, 53

globalisasi · 171

I

implikasi · 8

infrastruktur · 3, 10, 30, 70, 95,
169, 192

inklusif · 19, 133, 136, 139,
142, 157, 170, 171, 173, 191,
192

inovatif · 23, 119, 128, 175,
180, 181

integrasi · 55, 100, 103, 105,
149, 174, 184

investasi · 5, 30, 40, 42, 134,
169, 173, 193
investor · 146, 169, 193

K

kolaborasi · 7, 74, 81, 97, 137,
139, 144, 146, 156, 158, 159,
173, 184, 189, 193
komoditas · 11, 24, 28, 59, 60,
62, 67, 69, 98, 110, 118, 132,
166, 170, 207
komprehensif · 36, 69, 188, 214
konkret · 20, 144, 158, 184, 185

M

manifestasi · 174
manufaktur · 160
metodologi · 189
mikroorganisme · 9, 17, 23, 24,
26, 29, 31, 32, 34, 35, 43, 46,
47, 50, 51, 54, 63, 78, 83,
101, 112, 115, 116, 207

N

Nutrisi · 101, 113, 209

O

otoritas · 88, 129

P

politik · 2, 169, 193

R

real-time · 31, 35, 53, 71, 73,
75, 76, 77, 79, 81, 87, 160,
173, 174, 177, 179
regulasi · 8, 18, 87, 89, 97, 129,
131, 142, 146, 170, 177, 191,
193
revolusi · 177
robotika · 173

S

stabilitas · 6, 11, 44, 70, 118,
166, 168, 171
sustainability · 15, 198, 201,
204

T

transformasi · 165, 172, 173,
192
transparansi · 19, 88, 131, 171,
174

V

varietas · 2, 12, 23, 26, 27, 43,
44, 48, 177, 187, 192

BIOGRAFI PENULIS



Ivonne M. Leiwakabessy, S.P., M.Si.

Lahir di Ambon, 24 Juli 1969. Lulus S2 di Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi. Saat ini sebagai Dosen di Universitas Kristen Papua pada Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian.



Dr. Dwi Indah Widya Yanti, M.Si.

Lahir di Sorong, 21 Juli 1983. Lulus S3 di Program Studi Ilmu Kelautan FPIK Universitas Sam Ratulangi tahun 2022. Saat ini sebagai Dosen di Universitas Kristen Papua pada Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Pertanian.



Melisa Christine Masengi, S.Pi., M.Si.

Lahir di Tomohon, 24 Mei 1990. Lulus S2 di Program Studi Ilmu Perairan Universitas Sam Ratulangi tahun 2015. Saat ini sebagai Dosen di Universitas Kristen Papua pada Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan.



Roger R. Tabalessy, S.Si., M.Si

Lahir di Ambon, 5 September 1985. Lulus S2 di Program Studi Ilmu Perairan Program Magister Universitas Sam Ratulangi tahun 2014. Saat ini sebagai dosen di Universitas Kristen Papua Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan.



Joni Penda, S.P., M.MA.

Lahir di Tator, 06 Juni 1963 Lulus S2 di Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Tri Buana Tunggadewi Malang Saat ini sebagai Dosen di Universitas Kristen Papua pada Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian.



Frederik Pairunan, S.P., M.MA.

Lahir di Rantepao 13 Februari 1973. Lulus S2 Program Studi Agribisnis Universitas Tribuwana Tungga Dewi tahun 2013, saat ini sebagai Dosen di Universitas Kristen Papua pada Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian.



Yoelan Palembang, S.Pi., M.Pi.

Lahir di Mamasa, 01 Agustus 1983, Lulus S2 Ilmu Perikanan di Universitas Terbuka Pondok Cabe, Tangerang Selatan Tahun 2017, Saat ini Sebagai Dosen di Universitas Kristen Papua Pada Fakultas Pertanian Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan (MSDP).



Nistiarni Zebua, S.Pi., M.Si.

Lahir di Lauru, 23 Februari 1996. Lulus S2 di Program Studi Ilmu Perairan tahun 2024 dan S1 di Program Studi Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan di FPIK Universitas Sam Ratulangi Manado. Saat ini sebagai Dosen di Universitas Kristen Papua Sorong pada Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan.

Buku Referensi

Manajemen Sumber Daya Alam Pertanian dan Perikanan

Buku referensi "Manajemen Sumber Daya Alam: Pertanian dan Perikanan" membahas secara komprehensif strategi pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, dengan fokus utama pada dua sektor krusial: pertanian dan perikanan. Dalam konteks Indonesia yang kaya akan potensi agraris dan maritim, manajemen yang tepat menjadi kunci untuk menjawab tantangan ketahanan pangan, perubahan iklim, dan eksploitasi berlebih. Buku referensi ini membahas konsep dasar, kebijakan, serta pendekatan praktis dalam pengelolaan lahan pertanian, perikanan tangkap, dan budidaya perairan. Dilengkapi dengan studi kasus dan analisis berbasis data, buku referensi ini memberikan gambaran nyata mengenai dinamika di lapangan serta solusi yang dapat diterapkan oleh berbagai pihak, mulai dari pemerintah, pelaku usaha, hingga masyarakat lokal.



 mediapenerbitindonesia.com
 +6281362150605
 Penerbit Idn
 @pt.mediapenerbitidn

