

RISET OPERASI AGRIBISNIS BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)

Trisna Anggreini, S.P., M.Sc



RISET OPERASI AGRIBISNIS BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)

Trisna Anggreini, S.P., M.Sc

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014

Tentang Hak Cipta

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/ atau pidana denda paling Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

RISET OPERASI AGRIBISNIS BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)

Trisna Anggreini, S.P., M.Sc



YAYASAN PUTRA ADI DHARMA

RISET OPERASI AGRIBISNIS BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)

Penulis :

Trisna Anggreini, S.P., M.Sc

ISBN : 978-634-295-124-8

IKAPI : No.498/JBA/2024

Editor :

Annida Muthi'ah

Penyunting :

Yayasan Putra Adi Dharma

Desain sampul dan Tata letak

Yayasan Putra Adi Dharma

Penerbit :

Yayasan Putra Adi Dharma

Redaksi :

Wahana Pondok Ungu Blok B9 no 1, Bekasi

Office Marketing Jl. Gedongkuning, Banguntapan Bantul, Yogyakarta

Office Yogyakarta : 087777899993

Marketing : 088221740145

Instagram : @ypad_penerbit

Website : <https://ypad.store>

Email : teampenerbit@ypad.store

Cetakan Pertama April 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya buku yang berjudul *“Riset Operasi Agribisnis Berbasis Artificial Intelligence (AI)”* ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini hadir sebagai bentuk kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada integrasi antara riset operasi, agribisnis, dan teknologi kecerdasan buatan yang saat ini berkembang pesat.

Sektor agribisnis memiliki peran strategis dalam mendukung ketahanan pangan, peningkatan kesejahteraan petani, serta pembangunan ekonomi nasional. Namun, sektor ini juga dihadapkan pada berbagai tantangan kompleks, seperti ketidakpastian cuaca, fluktuasi harga, keterbatasan sumber daya, serta dinamika pasar global. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah yang sistematis dan adaptif dalam pengambilan keputusan. Riset operasi sebagai disiplin ilmu menawarkan berbagai metode optimasi dan pemodelan matematis, yang semakin diperkuat dengan pemanfaatan Artificial Intelligence (AI) untuk menghasilkan solusi yang lebih cerdas, cepat, dan akurat.

Buku ini membahas konsep dasar riset operasi dalam konteks agribisnis, mulai dari perencanaan produksi, manajemen rantai pasok, distribusi hasil pertanian, hingga pengelolaan sumber daya. Selain itu, buku ini juga mengulas penerapan teknologi AI, seperti machine learning, optimasi berbasis heuristik, serta sistem pendukung keputusan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan agribisnis. Dengan pendekatan yang terpadu, diharapkan pembaca dapat memahami bagaimana teori dan teknologi dapat diimplementasikan secara nyata dalam dunia agribisnis modern.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat, menjadi sumber referensi yang berguna, serta mendorong pengembangan inovasi di bidang agribisnis berbasis teknologi.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	VI
DAFTAR ISI	VII
BAB 1: PENDAHULUAN AGRIBISNIS DAN ERA AI	1
1.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	1
1.2 URAIAN MATERI	3
1.3 CONTOH STUDI KASUS: IMPLEMENTASI AI PADA PERTANIAN PRESISI	15
1.4 RANGKUMAN	17
1.5 LATIHAN SOAL ESSAY.....	18
BAB 2: DASAR-DASAR RISET OPERASI DALAM AGRIBISNIS	20
2.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	20
2.2 URAIAN MATERI	22
2.3 CONTOH STUDI KASUS: PEMODELAN SEDERHANA LAHAN PERTANIAN.....	35
2.4 RANGKUMAN	37
2.5 LATIHAN SOAL ESSAY.....	38
BAB 3: ARSITEKTUR DAN TEKNOLOGI AI UNTUK AGRIBISNIS	41
3.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	41
3.2 URAIAN MATERI	43
3.3 CONTOH STUDI KASUS: AI UNTUK PREDIKSI CUACA DAN PANEN	56
BAB 4: METODE OPTIMASI LINEAR PADA SEKTOR PERTANIAN	58
4.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	58
4.2 URAIAN MATERI	60

4.3 CONTOH STUDI KASUS: OPTIMASI ALOKASI PUPUK DAN AIR	75
4.4 RANGKUMAN	79
4.5 LATIHAN SOAL ESSAY	80
BAB 5: METODE OPTIMASI NON-LINEAR DAN DINAMIS	83
5.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	83
5.2 URAIAN MATERI	85
5.3 CONTOH STUDI KASUS: PENJADWALAN DISTRIBUSI PRODUK SEGAR	100
5.4 RANGKUMAN BAB 5	104
5.5 LATIHAN SOAL ESSAY	105
BAB 6: TEKNIK PEMBELAJARAN MESIN (MACHINE LEARNING)	107
6.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	107
6.2 URAIAN MATERI	109
6.3 CONTOH STUDI KASUS: DETEKSI HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN	124
6.4 RANGKUMAN BAB 6	126
6.5 LATIHAN SOAL ESSAY	128
BAB 7: SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN (DSS) BERBASIS AI	129
7.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	129
7.2 URAIAN MATERI	131
7.3 CONTOH STUDI KASUS: PENGAMBILAN KEPUTUSAN MASA TANAM	144
7.4 RANGKUMAN	146
7.5 LATIHAN SOAL ESSAY	147
BAB 8: ANALISIS BIG DATA DAN VISUALISASI INFORMASI	149
8.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	149
8.2 URAIAN MATERI	151
8.3 CONTOH STUDI KASUS: DASHBOARD MONITORING PRODUKSI	

REAL-TIME.....	161
8.4 RANGKUMAN	163
8.5 LATIHAN SOAL ESSAY.....	165
BAB 9: KEAMANAN DATA DAN ETIKA AI	167
9.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	167
9.2 URAIAN MATERI	169
9.3 CONTOH STUDI KASUS: IMPLEMENTASI KEAMANAN PADA DATABASE AGRIBISNIS	184
9.4 RANGKUMAN BAB 9	186
9.5 LATIHAN SOAL ESSAY.....	188
BAB 10: OPTIMALISASI PRODUKSI DAN MANAJEMEN LAHAN	190
10.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	190
10.2 URAIAN MATERI	192
10.3 CONTOH STUDI KASUS: TRANSFORMASI LAHAN TRADISIONAL KE MODERN.....	204
10.4 RANGKUMAN	206
10.5 LATIHAN SOAL ESSAY.....	208
BAB 11: TANTANGAN DAN STRATEGI IMPLEMENTASI	209
11.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	209
11.2 URAIAN MATERI	211
11.3 CONTOH STUDI KASUS: MENGATASI PENOLAKAN TEKNOLOGI DI KOMUNITAS PETANI	226
11.4 RANGKUMAN BAB 11	228
11.5 LATIHAN SOAL ESSAY.....	230
BAB 12: MASA DEPAN AGRIBISNIS BERBASIS AI	232
12.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	232
12.2 URAIAN MATERI	234
12.3 CONTOH STUDI KASUS: VISI GLOBAL PERTANIAN CERDAS.....	249
12.4 RANGKUMAN BAB 12	251
12.5 LATIHAN SOAL ESSAY.....	253

BAB 13: KEBIJAKAN, REGULASI, DAN TATA KELOLA	255
13.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	255
13.2 URAIAN MATERI	257
13.3 CONTOH STUDI KASUS: ANALISIS REGULASI AI DI INDONESIA	272
13.4 RANGKUMAN BAB 13	274
13.5 LATIHAN SOAL ESSAY	276
BAB 14: KESIMPULAN DAN REKOMENDASI STRATEGIS	278
14.1 CAPAIAN PEMBELAJARAN	278
14.2 URAIAN MATERI	280
GLOSARIUM	300
DAFTAR PUSTAKA	313
TENTANG PENULIS	321

BAB 1: PENDAHULUAN AGRIBISNIS DAN ERA AI

1.1 Capaian Pembelajaran

1.1.1 Kompetensi Dasar

Halaman ini dirancang untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai tujuan instruksional yang harus dicapai oleh mahasiswa setelah mempelajari bab ini. Capaian pembelajaran merupakan pilar utama dalam kurikulum berbasis kompetensi (Outcome-Based Education/OBE). Mahasiswa diharapkan tidak hanya memahami definisi secara superfisial, tetapi juga mampu menginternalisasi pergeseran paradigma dalam dunia agribisnis yang kini telah terdisrupsi oleh teknologi cerdas. Fokus utama bab ini adalah menjembatani pemahaman tradisional mengenai manajemen pertanian dengan metodologi riset operasi yang diperkuat oleh algoritma *Artificial Intelligence* (AI).

1.1.2 Indikator Keberhasilan

Setelah menyelesaikan Bab 1, mahasiswa diharapkan mampu:

Menganalisis	Evolusi	Agribisnis:	Mahasiswa dapat
menjelaskan	transisi	agribisnis	dari fase mekanisasi

tradisional hingga menuju era Agribisnis 4.0 yang berbasis data dan kecerdasan buatan secara kronologis dan sistematis.

Mengevaluasi Urgensi AI dalam Ketahanan

Pangan: Mahasiswa mampu memberikan argumen ilmiah mengenai mengapa integrasi AI menjadi solusi krusial dalam menghadapi krisis pangan global, pertumbuhan populasi, dan perubahan iklim yang ekstrem.

Mengidentifikasi Peran AI dalam Optimasi Sumber

Daya: Mahasiswa dapat memetakan area-area strategis dalam rantai nilai agribisnis (hulu ke hilir) di mana AI dapat meningkatkan efisiensi penggunaan input seperti air, pupuk, dan tenaga kerja.

Menjelaskan Hubungan Riset Operasi dan AI:

Mahasiswa mampu memahami posisi riset operasi sebagai kerangka matematika yang memberikan struktur pada proses pengambilan keputusan yang kemudian diotomatisasi oleh AI.

1.1.3 Relevansi Materi

Materi dalam bab ini sangat relevan dengan kebutuhan industri pertanian modern. Dengan meningkatnya kompleksitas variabel dalam budidaya dan distribusi pangan, metode konvensional seringkali gagal dalam memberikan prediksi yang akurat. Oleh karena itu, pemahaman tentang bagaimana teknologi digital mentransformasi

sektor ini menjadi modal utama bagi calon sarjana agribisnis untuk tetap kompetitif di pasar kerja global. Bab ini menyediakan landasan filosofis dan konseptual sebelum mahasiswa masuk ke dalam teknik pemodelan matematika yang lebih rumit di bab-bab selanjutnya.

1.2 Uraian Materi

1.2.1 Latar Belakang dan Transformasi Agribisnis Modern

Agribisnis, sebagai sebuah sistem yang mencakup keseluruhan operasi mulai dari pengadaan sarana produksi hingga pemasaran hasil pertanian, tengah berada di persimpangan jalan sejarah yang signifikan. Selama berabad-abad, sektor pertanian bergantung pada pengalaman empiris manusia dan siklus alam yang relatif terprediksi. Namun, memasuki abad ke-21, dinamika global menuntut efisiensi yang jauh lebih tinggi daripada yang bisa ditawarkan oleh metode tradisional. Transformasi ini sering kali dikategorikan ke dalam beberapa gelombang revolusi pertanian. Pertanian 1.0 ditandai dengan tenaga manusia dan hewan; Pertanian 2.0 dengan revolusi hijau dan mekanisasi; Pertanian 3.0 dengan munculnya GPS dan sistem informasi; dan kini kita berada di era Pertanian 4.0 atau Agribisnis Digital.

Pergeseran menuju Agribisnis Modern tidak sekadar tentang penggunaan traktor otomatis atau sensor tanah, melainkan tentang

pengolahan data menjadi pengetahuan (knowledge). Dalam pandangan ekonomi manajerial, agribisnis saat ini menghadapi tantangan "VUKA" (*Volatility, Uncertainty, Complexity, and Ambiguity*). Harga komoditas yang fluktuatif, pola cuaca yang tidak menentu akibat pemanasan global, serta gangguan rantai pasok global menuntut manajer agribisnis untuk mengambil keputusan berbasis data (*data-driven decision making*). Di sinilah Riset Operasi (RO) memainkan peran vital. RO menyediakan sekumpulan alat analisis kuantitatif yang memungkinkan pelaku usaha untuk memodelkan masalah kompleks ke dalam bentuk matematis guna mencari solusi optimal di tengah keterbatasan sumber daya.

Integrasi AI ke dalam Riset Operasi Agribisnis merupakan lompatan kuantum. Jika RO tradisional seringkali terbatas pada model statis dan linear, AI membawa kemampuan untuk menangani data non-linear, tidak terstruktur, dan bervolume besar (Big Data). AI memungkinkan sistem untuk "belajar" dari kegagalan masa lalu dan menyesuaikan parameter secara real-time. Sebagai contoh, dalam manajemen inventaris hasil tani yang cepat rusak, algoritma AI dapat memprediksi tingkat pembusukan dengan akurasi tinggi, sehingga optimasi distribusi dapat dilakukan lebih presisi dibandingkan metode perhitungan manual. Transformasi ini bukan hanya pilihan, melainkan keharusan strategis bagi negara-negara agraris seperti Indonesia untuk mempertahankan kedaulatan pangannya.

Adopsi teknologi ini juga dipicu oleh fenomena penuaan petani (aging farmers) di banyak belahan dunia, termasuk Indonesia. Generasi muda cenderung enggan terjun ke sektor pertanian jika metode yang digunakan masih dianggap tradisional, kotor, dan berisiko tinggi. Digitalisasi agribisnis dengan sentuhan AI memberikan daya tarik baru bagi generasi milenial dan Gen Z untuk melihat pertanian sebagai sektor teknologi tinggi yang menjanjikan secara finansial dan bergengsi secara intelektual. Dengan demikian, transformasi ini juga membawa misi sosial untuk meregenerasi tenaga kerja di sektor pangan.

Transformasi agribisnis modern sangat erat kaitannya dengan konsep Pertanian Presisi (*Precision Agriculture*). Konsep ini berargumen bahwa perlakuan terhadap tanaman tidak boleh disama-ratakan dalam satu lahan luas, melainkan harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik di titik-titik tertentu. Penggunaan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) melalui satelit atau drone menghasilkan citra multispektral yang memberikan data mengenai tingkat klorofil, kelembapan, dan serangan hama. Data-data tersebut, jika diproses secara manual oleh manusia, akan memakan waktu berbulan-bulan. Namun, dengan bantuan *Deep Learning*—salah satu cabang AI—data tersebut dapat dianalisis dalam hitungan detik untuk memberikan instruksi langsung kepada mesin penyemprot otomatis mengenai di mana dan berapa banyak pupuk yang harus dikeluarkan.

Perkembangan terkini menunjukkan bahwa kita sedang beranjak dari sistem pendukung keputusan menuju sistem otonom. Dalam sistem otonom, Riset Operasi tidak lagi hanya memberikan saran kepada manajer, tetapi langsung mengeksekusi tindakan melalui perangkat IoT (*Internet of Things*). Misalnya, sistem irigasi cerdas yang tidak hanya menyala berdasarkan jadwal, tetapi berdasarkan kalkulasi probabilistik tentang ramalan cuaca besok, tingkat penguapan hari ini, dan kebutuhan air spesifik tanaman pada fase pertumbuhannya. Hal ini menciptakan ekosistem pertanian yang sangat efisien dan meminimalkan limbah kimia yang dapat merusak lingkungan.

Namun, transformasi ini bukannya tanpa kendala. Terdapat kesenjangan digital yang lebar antara perusahaan agribisnis besar dengan petani kecil. Riset operasi berbasis AI membutuhkan infrastruktur digital yang mumpuni, seperti konektivitas internet 5G di pedesaan dan akses terhadap perangkat keras yang mahal. Oleh karena itu, peran pemerintah dan akademisi sangat penting dalam mendemokratisasi teknologi ini. Melalui model bisnis seperti "Farming as a Service" (FaaS), petani kecil dapat menyewa layanan teknologi AI tanpa harus memilikinya secara penuh. Ini adalah bagian dari strategi transformasi yang inklusif, memastikan bahwa efisiensi yang ditawarkan oleh AI dapat dinikmati oleh seluruh lapisan masyarakat agribisnis.

Secara teoritis, transformasi ini sejalan dengan *Resource-Based View* (RBV), di mana teknologi AI dan data dianggap sebagai aset strategis yang memberikan keunggulan kompetitif bagi perusahaan agribisnis. Dalam konteks global, perusahaan yang gagal mengintegrasikan kecerdasan buatan ke dalam riset operasinya akan tertinggal dalam efisiensi biaya produksi. Di sisi lain, mereka yang mampu memanfaatkan AI akan mampu memproduksi lebih banyak dengan input yang lebih sedikit (*do more with less*), sebuah mantra utama dalam ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan. Dengan demikian, Bab 1 ini meletakkan dasar pemikiran bahwa AI bukan sekadar alat tambahan, melainkan jantung dari operasional agribisnis di masa depan.

1.2.2 Urgensi Integrasi AI dalam Ketahanan Pangan

Ketahanan pangan telah menjadi isu keamanan nasional dan global yang paling mendesak di abad ini. Populasi dunia yang diproyeksikan mencapai 9,7 miliar pada tahun 2050 menuntut peningkatan produksi pangan hingga 70% dari level saat ini. Di sisi lain, luas lahan pertanian terus menyusut akibat konversi lahan menjadi pemukiman dan industri. Ketidakseimbangan antara pasokan dan permintaan ini menciptakan tekanan inflasi pangan yang dapat memicu ketidakstabilan sosial dan politik. Integrasi AI dalam riset operasi agribisnis menawarkan solusi sistemik untuk menutup celah produktivitas ini melalui optimalisasi pemanfaatan lahan yang ada.

Salah satu urgensi utama AI adalah kemampuannya dalam mitigasi dampak perubahan iklim. Pola cuaca yang kini sulit diprediksi secara tradisional membuat kalender tanam konvensional tidak lagi relevan. AI dapat memproses data historis cuaca selama puluhan tahun dan menggabungkannya dengan model atmosfer global untuk memberikan prediksi cuaca mikro yang sangat akurat. Hal ini memungkinkan petani untuk menentukan waktu tanam dan panen yang tepat guna menghindari risiko gagal panen akibat kekeringan atau banjir mendadak. Dalam riset operasi, informasi ini menjadi parameter input yang krusial untuk model optimasi stokastik yang memperhitungkan ketidakpastian.

Selain itu, AI berperan dalam mengurangi pemborosan di sepanjang rantai pasok pangan (*food loss and waste*). Sekitar sepertiga dari seluruh pangan yang diproduksi di dunia hilang atau terbuang sebelum mencapai meja konsumen. Di negara berkembang, kehilangan ini sering terjadi di tahap pasca-panen akibat logistik yang buruk. Algoritma optimasi rute cerdas berbasis AI dapat merancang jalur distribusi tercepat dan dengan kondisi suhu yang paling terjaga untuk produk-produk cepat rusak seperti sayuran dan buah-buahan. Dengan meminimalkan limbah, kita secara efektif meningkatkan ketersediaan pangan tanpa harus membuka lahan baru, sebuah pendekatan yang sangat ramah lingkungan.

Urgensi lainnya berkaitan dengan deteksi dini ancaman biologis. Hama dan penyakit tanaman dapat menghancurkan seluruh panen dalam hitungan hari. Sistem visi komputer (*Computer Vision*) yang dilatih dengan ribuan gambar penyakit tanaman dapat mengidentifikasi gejala awal melalui foto yang diambil dengan kamera ponsel petani atau drone. Deteksi dini ini memungkinkan intervensi yang terlokalisasi, mencegah penyebaran wabah secara luas tanpa perlu penyemprotan pestisida masal yang berlebihan. Hal ini tidak hanya menjaga kuantitas produksi tetapi juga kualitas dan keamanan pangan bagi konsumen akhir.

Dalam konteks nasional, integrasi AI menjadi instrumen penting untuk mencapai kedaulatan pangan. Kedaulatan pangan berbeda dengan ketahanan pangan; ia mencakup hak suatu bangsa untuk menentukan sistem pangannya sendiri secara mandiri. Dengan menggunakan AI untuk memetakan potensi komoditas di setiap daerah secara presisi, pemerintah dapat membuat kebijakan impor-ekspor yang lebih cerdas. Riset operasi berbasis AI dapat digunakan untuk memodelkan "Neraca Pangan Nasional" secara real-time, memberikan peringatan dini jika terjadi kekurangan stok di suatu wilayah sehingga redistribusi pangan dapat dilakukan dengan cepat antar-provinsi.

Keberadaan AI juga membantu dalam diversifikasi pangan. Seringkali, ketergantungan pada satu komoditas pokok seperti beras

menciptakan risiko sistemik. AI dapat membantu peneliti agronomi dalam menganalisis data genetika dan kecocokan lahan untuk mengembangkan komoditas alternatif yang lebih tahan terhadap hama lokal atau kondisi tanah tertentu. Pemodelan simulasi yang dilakukan oleh AI mempercepat proses pemuliaan tanaman yang dulunya memakan waktu bertahun-tahun menjadi hanya beberapa musim saja. Kecepatan inovasi ini adalah kunci dalam menghadapi tantangan ketahanan pangan yang sifatnya *time-sensitive*.

Urgensi sosial juga tidak boleh diabaikan. Ketahanan pangan sangat bergantung pada kesejahteraan petani. Jika bertani dianggap sebagai usaha yang penuh risiko dan kerugian, maka jumlah petani akan terus berkurang. AI memberikan kepastian usaha melalui sistem asuransi pertanian berbasis indeks cuaca (*weather index-based insurance*). Dalam sistem ini, klaim asuransi dibayarkan secara otomatis berdasarkan data sensor cuaca yang diolah AI tanpa perlu survei lapangan yang lama. Kepastian finansial ini memotivasi petani untuk tetap berproduksi, yang pada akhirnya memperkuat pilar ketahanan pangan nasional.

Secara makro, integrasi AI mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomor 2, yaitu *Zero Hunger*. AI memungkinkan terciptanya sistem pangan yang lebih efisien, inklusif, tangguh, dan berkelanjutan. Dengan mengoptimalkan setiap butir benih dan setiap tetes air, AI membantu manusia untuk hidup selaras

dengan alam sembari memenuhi kebutuhan nutrisi global. Oleh karena itu, bab ini menegaskan bahwa AI bukanlah sekadar tren teknologi, melainkan fondasi baru bagi kemanusiaan untuk bertahan hidup di masa depan yang penuh tantangan.

1.2.3 Peran AI dalam Efisiensi Sumber Daya Agribisnis

Efisiensi sumber daya adalah inti dari riset operasi. Dalam agribisnis, sumber daya utama meliputi lahan, air, energi, pupuk, dan tenaga kerja. Secara tradisional, manajemen sumber daya ini dilakukan dengan metode "pukul rata" atau berdasarkan intuisi. Namun, keterbatasan sumber daya alam yang semakin meningkat menuntut pendekatan yang lebih presisi. AI bertindak sebagai otak yang mengoordinasikan pemanfaatan sumber daya ini secara optimal sehingga setiap unit input menghasilkan output yang maksimal. Inilah yang dikenal sebagai konsep produktivitas faktor total (*Total Factor Productivity*) yang ditingkatkan oleh teknologi digital.

Dalam hal manajemen air, AI merevolusi teknik irigasi. Sektor pertanian mengonsumsi sekitar 70% dari air tawar dunia. Pemborosan air dalam irigasi tradisional sangatlah masif. Sistem irigasi cerdas yang didukung oleh pembelajaran mesin (*Machine Learning*) menganalisis data kelembapan tanah dari sensor bawah tanah, data penguapan (*evapotranspiration*), dan ramalan cuaca. Algoritma kemudian menentukan volume air yang tepat yang dibutuhkan oleh

tanaman di setiap blok lahan. Hal ini tidak hanya menghemat air hingga 40-50%, tetapi juga mencegah pencucian unsur hara tanah akibat pemberian air yang berlebihan.

Efisiensi pupuk dan bahan kimia juga menjadi fokus utama. Penggunaan pupuk berlebih tidak hanya membebani biaya produksi tetapi juga menyebabkan pencemaran air tanah dan emisi gas rumah kaca. Teknologi AI dalam bentuk traktor otonom atau penyemprot cerdas menggunakan kamera untuk membedakan antara tanaman budidaya dengan gulma. Pestisida hanya disemprotkan pada gulma atau tanaman yang sakit, sementara pupuk hanya diberikan pada area yang menunjukkan defisiensi nutrisi berdasarkan analisis citra. Pendekatan *Variable Rate Application* (VRA) ini memastikan bahwa biaya input ditekan seminimal mungkin tanpa mengorbankan hasil panen.

Sumber daya energi dalam agribisnis, terutama untuk mesin-mesin besar dan sistem pengeringan, juga dapat dioptimalkan. AI dapat mengatur jadwal penggunaan mesin guna menghindari beban puncak listrik atau memilih rute traktor yang paling hemat bahan bakar berdasarkan topografi lahan. Dalam industri pengolahan hasil pertanian, AI mengoptimalkan kinerja mesin pendingin dan oven, memastikan kualitas produk terjaga dengan konsumsi energi terendah. Efisiensi energi ini secara langsung berkontribusi pada

penurunan jejak karbon sektor agribisnis, menjadikannya lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan sesuai dengan standar global.

Tenaga kerja merupakan salah satu komponen biaya terbesar dalam agribisnis, terutama pada komoditas yang memerlukan penanganan intensif seperti hortikultura. Masalah kelangkaan tenaga kerja di pedesaan seringkali menjadi penghambat ekspansi usaha. AI mengisi celah ini melalui robotika pertanian. Robot pemanen cerdas yang dilengkapi dengan sensor sentuhan dan penglihatan komputer dapat memetik buah yang sudah matang tanpa merusaknya. Selain itu, AI membantu dalam manajemen tenaga kerja manusia dengan merancang jadwal kerja yang paling efisien, meminimalkan waktu menganggur, dan memastikan tugas-tugas kritis diselesaikan tepat waktu berdasarkan prioritas yang dihasilkan oleh model riset operasi.

Manajemen lahan juga mendapatkan manfaat besar dari AI. Melalui analisis data satelit multi-temporal, AI dapat memantau kesehatan lahan secara luas dan mendeteksi degradasi tanah sebelum menjadi permanen. AI membantu manajer agribisnis dalam memutuskan rotasi tanaman yang paling optimal secara biologis dan ekonomis. Misalnya, algoritma dapat merekomendasikan penanaman kacang-kacangan setelah padi untuk mengembalikan kandungan nitrogen tanah secara alami. Strategi ini mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis dan menjaga produktivitas lahan dalam jangka

panjang, yang merupakan bentuk optimasi aset tanah yang paling mendasar.

Integrasi AI dalam seluruh aspek penggunaan sumber daya ini menciptakan apa yang disebut sebagai "Smart Factory in the Field". Pertanian tidak lagi dipandang sebagai aktivitas luar ruangan yang liar, tetapi sebagai proses industri yang terkontrol dan terukur. Data yang dikumpulkan dari setiap siklus produksi diumpankan kembali ke dalam algoritma AI untuk terus memperbaiki model riset operasi. Proses perbaikan berkelanjutan (*Continuous Improvement*) ini memastikan bahwa efisiensi sumber daya akan terus meningkat dari waktu ke waktu seiring dengan semakin banyaknya data yang terkumpul.

Terakhir, efisiensi sumber daya ini berdampak pada profitabilitas. Dalam agribisnis yang margin keuntungannya seringkali tipis, penghematan biaya input sebesar 10-20% melalui optimasi AI dapat berarti perbedaan antara kerugian dan keberlanjutan usaha. Oleh karena itu, bagi mahasiswa agribisnis, mempelajari peran AI dalam efisiensi sumber daya bukan hanya soal penguasaan teknologi, tetapi soal pemahaman strategi bisnis dasar untuk menjaga kelangsungan operasional di masa depan. AI adalah katalisator yang mengubah keterbatasan menjadi peluang produktivitas yang baru.

