Barahima Abbas, Alce Ilona Noya,
Herman Wafom Tubur, Ema Lisiane Adelce Tanawani,
Elferlyn Reveria Pattiasina, Chindy Shela Selviayanti.

PERTANIAN PRESISI DAN BERKELANJUTAN

Dengan Pendekatan Analisis Multidimensional



PERTANIAN PRESISI DAN BERKELANJUTAN

Dengan Pendekatan Analisis Multidimensional

Barahima Abbas, Alce Ilona Noya,
Herman Wafom Tubur, Ema Lisiane Adelce Tanawani,
Elferlyn Reveria Pattiasina, Chindy Shela Selviayanti.

Penerbit Widina

PERTANIAN PRESISI DAN BERKELANJUTAN
DENGAN PENDEKATAN ANALISIS MULTIDIMENSIONAL

Penulis:
Barahima Abbas, Alce Ilona Noya,
Herman Wafom Tubur, Ema Lisiane Adelce Tanawani,
Elferlyn Reveria Pattiasina, Chindy Shela Selviayanti

Desain Cover:
Helmaria Ulfa

Sumber Ilustrasi:
www.freepik.com

Tata Letak:
Handarini Rohana

Editor:
Neneng Sri Wahyuni

ISBN:
978-634-317-409-7

Cetakan Pertama:
Oktober, 2026

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang
by Penerbit Widina Media Utama

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

PENERBIT:
WIDINA MEDIA UTAMA
Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 519/JBA/2025
Website: www.penerbitwidina.com
Instagram: @penerbitwidina
Telepon (022) 87355370

REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka pelindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan	:	EC002026164242, 3 September 2026
Pencipta		
Nama	:	**Barahima Abbas, Herman Wafom Tubur dkk**
Alamat	:	Jl. Amban Pantai, Perum Dosen No. 15, Manokwari Barat, Kab. Manokwari, Papua Barat, 98314
Kewarganegaraan	:	Indonesia
Pemegang Hak Cipta		
Nama	:	**Barahima Abbas**
Alamat	:	Jl. Amban Pantai, Perum Dosen No. 15, Manokwari Barat, Kab. Manokwari, Papua Barat, 98314
Kewarganegaraan	:	Indonesia
Jenis Ciptaan	:	**Buku**
Judul Ciptaan	:	**Pertanian presisi dan berkelanjutan dengan pendekatan analisis multidimensional**
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia	:	2 September 2026, di Kab. Manokwari
Jangka waktu pelindungan	:	Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.
Nomor Pencatatan	:	001465921

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Hermansyah Siregar, S.H., M.H.
NIP. 197010161992031001

Balai Besar Sertifikasi Elektronik

Disclaimer:
1. Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.
2. Surat Pencatatan ini telah disegel secara elektronik menggunakan segel elektronik yang ditertibkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara.
3. Surat Pencatatan ini dapat dibuktikan keasliannya dengan memindai kode QR pada dokumen ini dan informasi akan ditampilkan dalam browser.

LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Barahima Abbas	Jl. Amban Pantai, Perum Dosen No. 15 Manokwari Barat, Kab. Manokwari
2	Herman Wafom Tubur	Jl. Pahlawan Sanggeng Manokwari Barat, Kab. Manokwari
3	Alce Ilona Noya	Jl. Amban Pantai, Perumahan Griyah Indah Manokwari Barat, Kab. Manokwari
4	Chindy Shela Selviayanti	Kampung Susweni Manokwari Timur, Kab. Manokwari
5	Elferlyn Reveria Pattiasina	Jl. SPMA Reremi, Kampus Polbantan Manokwari Barat, Kab. Manokwari
6	Ema Lisiane Adelce Tanawani	Jl. Dr. Sam Ratulangi Nabire, Kab. Nabire

Balai Besar Sertifikasi Elektronik

Disclaimer:
1. Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.
2. Surat Pencatatan ini telah disegel secara elektronik menggunakan segel elektronik yang diterbikan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara.
3. Surat Pencatatan ini dapat dibuktikan keasliannya dengan memindai kode QR pada dokumen ini dan informasi akan ditampilkan dalam browser.

KATA PENGANTAR



Puji dan Syukur dipanjatkan kehadirat Allah S.W.T, Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat, hidayah, dan RidhoNya, sehingga buku yang berjudul "**Pertanian presisi dan berkelanjutan dengan pendekatan analisis multidimensional**". Buku ini ditujukan sebagai buku referensi dan buku ajar. Buku ini terinspirasi akibat perkembangan dan kemajuan teknologi yang pesat dan berinfiltrasi ke berbagai bidang, termasuk bidang pertanian untuk mewujudkan pertanian presisi dan berkelanjutan.

Pendekatan sistem menuju pertanian presisi dan berkelanjutan yang membahas teori sistem dan pendekatan sistem thinking, penerapan system thinking (ST), dalam sistem pertanian, konsep agroekosistem, sistem pertanian konvensional, organik dan agroekologi, integrated farming system (IFS), pertanian presisi (precition agriculture), dan prinsip berkelanjutan dalam sistem produksi pertanian. **Keberlanjutan pertanian dalam kerangka triple bottom line dan sustainable development goals (SDGs)** yang membahas tentang konsep dasar pertanian berkelanjutan, keunggulan dan keterbatasan sistem pertanian. **Pendekatan sistem thinking dalam analisis agroekosistem** yang membahas karakteristik komponen biofisik agroekosistem, analisis komponen sosial-ekonomi agroekosistem, hubungan sebab-akibat dan feedback loop dalam agroekosistem, system mapping dan causal loop diagram agroekosistem, dinamika dan trajektori agroekosistem, integrasi perspektif dan implikasi kebijakan.

Dinamika sistem pertanian dalam menghadapi perubahan iklim yang membahas tentang dampak perubahan iklim terhadap sistem pertanian, analisis skenario sistem (Scenario Analysis), carrying capacity dan daya dukung lahan (DDL), risiko dan ketidakpastian dalam sistem pertanian. **Pendekatan problem treeanalisis dan root cause analisis** yang membahas konsep dan metodologi problem tree analysis, root cause analysis, akar permasalahan degradasi lahan, dinamika degradasi lahan di Indonesia, problem tree analysis, root cause analysis. **Model solusi berbasis sistem dalam transformasi pertanian** membahas tentang pendekatan interdisipliner dalam pertanian, sustainable intensification, agroecological transition, dan analisis kebijakan pertanian. **Indikator produktifitas dan efisiensi sumberdaya** yang membahas tentang analisis input–output (IO) sistem pertanian, life cycle assessment (LCA) dalam pertanian, tujuan dan manfaat LCA dalam pertanian, analisis ekonomi usaha tani (EUT).

Sustainability assessment (SA) tools yang membahas multi-criteria decision analysis (MCDA), metode-metode utama MCDA, enviromental impact assessment (EIA) dalam pertanian, evaluasi sosial dan ekonomi sistem pertanian, integrasi MCDA, EIA, dan evaluasi sosial-ekonomi, teknologi dan Inovasi dalam sustainability assessment, dan implikasi kebijakan dan rekomendasi implementasi. **Analisis PWP, PRA, PPPB, dan KKP** yang membahas tentang participatory rural appraisal (PRA), perencanaan pembangunan pertanian berkelanjutan, ketahanan dan kedaulatan pangan.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam mewujudkan buku ini. Semoga buku ini dapat berkontribusi menambah wawasan dan gairah dalam mengembangkan pertanian presisi dan berkelanjutan. Disadari bahwa buku ini masih terdapat kekurangan untuk itu kritikan dan saran yang sifatnya membangun sangat diharapkan dari penelaah dan pembaca.

Manokwari, September 2026

Penulis

DAFTAR ISI

SURAT PENCATATAN CIPTAAN ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vii**
DAFTAR TABEL ..... **x**
BAB I PENDEKATAN SISTEM DALAM PENGEMBANGAN SISTEM PERTANIAN BERKELANJUTAN **1**
A. Pendahuluan 1
B. Teori sistem dan pendekatan Sistem Thinking 3
C. Penerapan System Thinking (ST) dalam Sistem Pertanian 5
D. Konsep Agroekosistem 6
E. Sistem Pertanian Konvensional, Organik dan Agroekologi 10
F. Integrated Farming System (IFS) 13
G. Pertanian Presisi (Precition agriculture) 17
H. Prinsip Berkelanjutan Dalam Sistem Produksi Pertanian 21
Daftar Pustaka 25
BAB II KEBERLANJUTAN PERTANIAN DALAM KERANGKA TRIPLE BOTTOM LINE DAN SDGs **29**
A. Pendahuluan 29
B. Konsep Dasar Pertanian Berkelanjutan 32
C. Keunggulan dan Keterbatasan Sistem Pertanian 54
Daftar Pustaka 60
BAB III PENDEKATAN SYSTEM THINKING DALAM ANALISIS AGROEKOSISTEM **69**
A. Pendahuluan 69
B. Karakteristik Komponen Biofisik Agroekosistem 72
C. Analisis Komponen Sosial-Ekonomi Agroekosistem 78
D. Hubungan Sebab-Akibat dan Feedback Loop dalam Agroekosistem 82
E. System Mapping dan Causal Loop Diagram Agroekosistem 86
F. Dinamika dan Trajektori Agroekosistem 90
G. Integrasi Perspektif dan Implikasi Kebijakan 95
Daftar Pustaka 99
BAB IV DINAMIKA SISTEM PERTANIAN DALAM MENGHADAPI PERUBAHAN IKLIM **107**
A. Pendahuluan 107

B. Resiliensi dan Stabilitas Sistem Pertanian 110
C. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Sistem Pertanian 113
D. Analisis Skenario Sistem (Scenario Analysis) 116
E. Carrying Capacity dan Daya Dukung Lahan (DDL) 119
F. Risiko dan Ketidakpastian dalam Sistem Pertanian 121
Daftar Pustaka 125
BAB V PENDEKATAN PROBLEM TREE ANALYSIS DAN ROOT CAUSE ANALYSIS 131
A. Pendahuluan 131
B. Konsep dan Metodologi Problem Tree Analysis 132
C. Root Cause Analysis: Konsep, Metodologi, dan Aplikasi 135
D. Root Cause Analysis: Akar Permasalahan Degradasi Lahan 142
E. Dinamika Degradasi Lahan di Indonesia: Studi Kasus Regional 143
F. Problem Tree Analysis: Konflik Penggunaan Lahan 145
G. Root Cause Analysis: Akar Konflik Penggunaan Lahan 148
Daftar Pustaka 160
BAB VI MODEL SOLUSI BERBASIS SISTEM DALAM TRANSFORMASI PERTANIAN. 165
A. Pendahuluan 165
B. Pendekatan Interdisipliner dalam Pertanian 169
C. Sustainable Intensification 171
D. Agroecological Transition 173
E. Analisis Kebijakan Pertanian 175
F. Model Solusi Berbasis Sistem 177
Daftar Pustaka 184
BAB VII INDIKATOR PRODUKTIVITAS DAN EFISIENSI SUMBER DAYA 187
A. Pendahuluan 187
B. Analisis Input–Output (IO) Sistem Pertanian 189
C. Life Cycle Assessment (LCA) Dalam Pertanian 192
D. Analisis Ekonomi Usaha Tani (EUT). 194
Daftar Pustaka 198
BAB VIII SUSTAINABILITY ASSESSMENT (SA) TOOLS 201
A. Pendahuluan 201
B. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) 204
C. Metode-Metode Utama MCDA 206
D. Enviromental Impact Assessment (EIA) dalam Pertanian 210
E. Evaluasi Sosial dan Ekonomi Sistem Pertanian 215
F. Integrasi MCDA, EIA, dan Evaluasi Sosial-Ekonomi 221

G. Teknologi dan Inovasi dalam Sustainability Assessment 223
H. Implikasi Kebijakan dan Rekomendasi Implementasi 225
Daftar Pustaka 228
BAB 9 ANALISIS PWP, PRA, PPPB, DAN KKP 235
A. Pendahuluan 235
B. Participatory Rural Appraisal (PRA) 241
C. Perencanaan Pembangunan Pertanian Berkelanjutan 248
D. Ketahanan dan kedaulatan pangan 253
Daftar Pustaka 260
GLOSARIUM 265

DAFTAR TABEL

Table 1. Dimensi utama analisis PWP.....237
Table 2. Metode analisis PWP 240
Table 3. Alat-Alat PRA dan pegunaannya 245
Table 4. Perbandingan Sistem Pertanian Konvensional dan Berkelanjutan 252
Table 5. Perbandingan ketahanan pangan dan kedaulatan pangan.....258

BAB I

PENDEKATAN SISTEM DALAM PENGEMBANGAN SISTEM PERTANIAN BERKELANJUTAN

A. PENDAHULUAN

Sektor pertanian memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan pangan, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, serta menjaga stabilitas ekonomi suatu negara. sektor pertanian menghadapi berbagai tantangan seperti pertumbuhan penduduk yang pesat, perubahan iklim, keterbatasan lahan, serta degradasi sumber daya alam dalam beberapa dekade terakhir. Kondisi tersebut menuntut adanya transformasi dalam sistem pertanian menuju pendekatan yang lebih modern, efisien, dan berkelanjutan agar mampu memenuhi kebutuhan pangan sekaligus menjaga kelestarian lingkungan (Sudarsih et al., 2024).

Pertanian modern tidak hanya berfokus pada peningkatan produksi, tetapi juga memperhatikan aspek keberlanjutan ekologi, ekonomi, dan sosial dalam sistem produksi pertanian. Konsep keberlanjutan dalam pertanian muncul sebagai respon terhadap dampak negatif dari sistem pertanian konvensional yang seringkali menggunakan input kimia secara berlebihan, sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan seperti penurunan kesuburan tanah, pencemaran air, serta hilangnya keanekaragaman hayati. Pengembangan sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan menjadi kebutuhan penting dalam pembangunan pertanian saat ini (Basuki et al., 2023).

Upaya mencapai sistem pertanian yang berkelanjutan, pendekatan sistem menjadi salah satu metode yang banyak digunakan dalam analisis dan pengelolaan pertanian. Pendekatan sistem memandang pertanian sebagai suatu kesatuan yang terdiri atas berbagai komponen yang saling berinteraksi, seperti tanah, tanaman, air, iklim, teknologi, serta faktor sosial ekonomi masyarakat. Memahami hubungan antar komponen tersebut membuat pengelolaan pertanian dapat dilakukan secara lebih

DAFTAR PUSTAKA

Adams, Z., Modi, A. T., & Kuria, S. K. (2025). Multidimensional perspective of sustainable agroecosystems and the impact on crop production: A review. *Agriculture*, 15(6), 581.

Adiwijaya, A. (2024). Peran agroekosistem dalam mendukung keberlanjutan pertanian. *Jurnal Pertanian*.

Afriamah. (2024). Pendekatan agroekologi untuk meningkatkan kesehatan tanah dan keanekaragaman hayati.

Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Dinelli, G. (2024). Towards an agroecological approach to crop health. *npj Sustainable Agriculture*.

Babar, A. Z., & Akan, O. B. (2024). Sustainable and precision agriculture with the Internet of Everything (IoE).

Balode, L., et al. (2025). Organic versus conventional agriculture: Comparison of economic and environmental sustainability. *Environmental and Climate Technologies*.

Basuki, B., Umam, C., Dahliana, B., Jihad, M., Mutmainnah, L., Rahman, F. A., Sembiring, J., Sari, V. K., & Ristiyana, S. (2023). *Agroekologi: Suatu konsep menuju pertanian berkelanjutan*.

Bhati, P., Saikia, A. R., Chaudhary, S., Bahadur, R., Nengparmoi, T., Talukdar, N., & Hazarika, S. (2024). Integrated farming systems for environment sustainability: A comprehensive review. *Journal of Scientific Research and Reports*.

Charoenmuang, M., et al. (2024). A systems thinking approach to integrated STEM in agricultural education. *Education Sciences*, 16(2), 253.

Dukat, D., Wahyuni, I., & Prihtiyantoro, W. (2024). The role of precision agriculture technologies in enhancing sustainable farming practices among smallholder farmers. *Journal of Academic Science.*

Dutta, M., Gupta, D., Tharewal, S., Goyal, D., Sandhu, J. K., Kaur, M., & Alanazi, J. M. (2025). Internet of Things-based smart precision farming in soilless agriculture.

Fitri, M. A., & Usni, M. (2024). Pertanian berbasis agroekologi untuk mendukung pertanian berkelanjutan.

Getahun, S., Kefale, H., & Gelaye, Y. (2024). Precision agriculture technologies for sustainable crop production. *The Scientific World Journal*.

Gulaiya, S., Sharma, A., Singh, S., Kumar, R., & Yadav, K. (2024). Precision agriculture: Transforming farming efficiency with smart technologies. *Journal of Experimental Agriculture International*.

Harahap, L. H., Miyarnis, M., Lubis, I. R., & Nurmalasari, N. (2024). Good agricultural practices berbasis enam aspek untuk mendukung sistem pertanian berkelanjutan. *Jurnal Agro Estate*.

Hussain, M. R., Meraj, J. T., & Sarker, O. A. (2024). Precision farming through Internet of Things innovations in agriculture. *Journal of Sustainable Agricultural Economics*.

Hutagalung, K. Y. (2024). Pertanian berkelanjutan menyesuaikan diri dengan tantangan perubahan iklim. *Jurnal Pertanian*.

Ibnu, M. (2024). Evaluasi keunggulan relatif pertanian organik dan non-organik. *Jurnal Pangan*.

Indriyati, L. T., Santoso, S., & Irianti, E. (2023). Dampak pertanian organik dan konvensional pada biodiversitas dan sifat kimia tanah. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*.

Ishak, A. (2021). Konsep berpikir sistem pertanian. *Wanatani Journal*, 1(1).

Kamakaula, Y., & Uria, D. (2024). Comparative study: Traditional agriculture vs modern agriculture in sustainable development. *Contemporary Journal of Applied Sciences*.

Kumar, S., Kumar, A., Shivani, K., Kumar, R., Dubey, R., & Das, A. (2025). Enhancing farm productivity, profitability, sustainability and livelihood of small farm holders through integrated farming system. *Indian Journal of Agricultural Sciences*.

Larasati, K. (2024). Sistem pangan dalam pertanian berkelanjutan. *Trend and Future of Agribusiness*.

Li, Z., Wang, Y., & Song, Z. (2025). Developing new varieties of deep-rooted crops and agroecosystem services. *npj Sustainable Agriculture*.

Lubis, S. Z. (2024). Peran agroekologi dalam mewujudkan pertanian berkelanjutan di daerah perdesaan.

Malau, A. G., & Simanjuntak, M. B. (2024). Innovating sustainable agriculture: Perspectives from economy and biology professionals. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*.

Melandari, N. D. I., & Murnawan, H. (2024). Pendekatan sistem dinamis untuk pengelolaan lingkungan pertanian dalam meningkatkan profit dan ketahanan pangan berkelanjutan. *Jurnal Media Informatika*.

Miarso, M. (2023). Penerapan sistem pertanian berkelanjutan dalam mendukung produksi pertanian. *Agronimal: Jurnal Ilmiah Pertanian dan Peternakan*.

Nengsi, S. W. (2025). Integration of farming-livestock systems in sustainable agrocomplex development in Indonesia. *Journal of Agro Complex Development Society*.

Purwanto, D., & Karsinah. (2024). Analisis keberlanjutan sistem pertanian terpadu pada usaha tani padi. *Inovasi Pembangunan: Jurnal Kelitbangan*.

Purwanto, D., & Karsinah. (2025). Analisis keberlanjutan sistem pertanian terpadu pada usaha tani padi.

Raharjo, A. S. S., & Mulyatni, A. S. (2023). Sustainable ecological guidance and implementation of national organic agriculture. *Jurnal Pusaka*.

Rodrigues, G. C. (2022). Precision agriculture: Strategies and technology adoption. *Agriculture Journal*, 12(9).

Sanyaolu, M., & Sadowski, A. (2024). The role of precision agriculture technologies in enhancing sustainable agriculture. *Sustainability*.

Sentamilselvan, K., & Anand, J. (2024). Integrated farming system: The roadway to sustainable agriculture. *Journal of Digital Economy*.

Singh, J., Singh, B., Singh, A. K., & Rani, P. (2024). Integrated farming system: A sustainable approach towards modern agriculture. *International Journal of Plant & Soil Science*.

Souji, S., Jacob, A., & Jacob, J. (2024). Innovative strategies for sustainable agriculture: The role of integrated farming system. *African Journal of Biomedical Research*.

Sudarsih, R., Susilowati, L. E., Mulyati, & Suwardji. (2024). Agroekologi sebagai solusi berkelanjutan pada sistem pertanian.

Sudarsih, R., Susilowati, L. E., Mulyati, & Suwardji. (2025). Agroekologi sebagai solusi berkelanjutan: Review sistematis terhadap praktik dan dampaknya pada sistem pertanian. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*.

Sutantio, R. A., Putri, D. A., Chairina, R. L., & Komariyah, S. (2023). Strategi pembangunan pertanian berbasis agroindustri dan SDGs. *Jurnal Ilmiah Inovasi*.

Sutisna, D., & Firdaus, M. (2023). Evaluasi penerapan sistem pertanian organik di Desa Sukamanah. *Agricore: Jurnal Agribisnis dan Sosial Ekonomi Pertanian*.

U.S. Government Accountability Office. (2024). *Precision agriculture: Benefits and challenges for technology adoption and use*.

Undari, D., & Arista, N. I. D. (2024). Potensi precision farming dalam penerapan prinsip reduce untuk mengurangi limbah sumber daya pertanian. *Waste Handling and Environmental Monitoring*.

Usni, M. (2024). Systematic literature review: Integrated farming system sebagai daya saing dan keberlanjutan pertanian di Indonesia. *Fruitset Sains: Jurnal Pertanian Agroteknologi*.

Velez, L. D., & Muriel, S. B. (2023). The need for a unified agroecosystem concept. *Agroecology and Sustainable Food Systems*.

Waluyo, T. (2024). Application of sustainable agribusiness management concepts. *Journal of Economics and Business*.

BAB II

KEBERLANJUTAN PERTANIAN DALAM KERANGKA TRIPLE BOTTOM LINE DAN SDGs

A. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor strategis yang menjadi fondasi ketahanan pangan dan penopang perekonomian di berbagai negara, terutama negara-negara berkembang di kawasan Asia dan Afrika. Meningkatnya tekanan populasi global yang diproyeksikan mencapai 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050, sektor pertanian menghadapi tantangan luar biasa untuk memenuhi kebutuhan pangan dunia sekaligus menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlangsungan sumber daya alam.

Laporan internasional menunjukkan bahwa sistem pertanian konvensional yang selama ini mendominasi produksi pangan global telah memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan. FAO (2021) mencatat bahwa sektor pertanian menyumbang sekitar 23 persen emisi gas rumah kaca global, menggunakan lebih dari 70 persen konsumsi air tawar dunia, dan menjadi penyebab utama degradasi lahan di berbagai wilayah. Situasi ini memunculkan urgensi yang kuat untuk melakukan transformasi fundamental dalam cara manusia berproduksi pangan.

Konsep pertanian berkelanjutan *(sustainable agriculture)* hadir sebagai respons atas ketidakseimbangan yang terjadi antara tuntutan produktivitas dengan kapasitas ekosistem. Pertanian berkelanjutan bukan sekadar pendekatan teknis produksi, melainkan suatu paradigma baru yang mengintegrasikan dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan secara holistik. Brundtland (1987) dalam laporan "*Our Common Future*" mendefinisikan pembangunan berkelanjutan sebagai pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya sendiri. Definisi ini kemudian menjadi acuan dasar dalam pengembangan konsep pertanian berkelanjutan di seluruh dunia.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, F., Hariadi, S. S., & Wahyunto. (2022). Carbon stocks and mitigation potential in Indonesian agriculture: An integrated assessment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(4), 4215-4234. DOI: https://doi.org/10.1007/s42729-022-00924-9

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology and the transformation of agri-food systems: Transdisciplinary and participatory perspectives. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(5), 543-555. DOI: https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1715793

Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Montalba, R. (2021). Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: An agroecological perspective. *Sustainability*, 9(3), 349. DOI: https://doi.org/10.3390/su9030349

Arsanti, I. W., Rauf, R. A., Basir-Cyio, M., Taha, A., & Lakani, I. (2020). Income and welfare of vegetable farmers in Central Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 518, 012028.

Barnett, B. J., & Mahul, O. (2021). Weather index insurance for agriculture and rural areas in lower-income countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 89(5), 1241-1247.

Bernhardt, E. S., Rosi, E. J., & Gessner, M. O. (2022). Synthetic chemicals as agents of global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(2), 84-90. DOI: https://doi.org/10.1002/fee.1450

Binder, C. R., Feola, G., & Steinberger, J. K. (2020). Considering the normative, systemic and procedural dimensions in indicator-based sustainability assessments in agriculture. *Environmental Impact Assessment Review*, 30(2), 71-81.

Boström, M. (2020). A missing pillar? Challenges in theorizing and practicing social sustainability: introduction to the special issue. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 8(1), 3-14.

BPS (Badan Pusat Statistik). (2023). *Statistik Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.

Cabell, J. F., & Oelofse, M. (2020). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 17(1), 18. DOI: https://doi.org/10.5751/ES-04666-170118

Clapp, J. (2023). *Food*. (3rd ed.). Polity Press.

Clark, M., & Tilman, D. (2020). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064016.

Dearing, J. A., Wang, R., Zhang, K., Dyke, J. G., Haberl, H., Hossain, M. S., ... & Poppy, G. M. (2021). Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems. *Global Environmental Change*, 28, 227-238.

Di Falco, S., & Veronesi, M. (2021). How can African agriculture adapt to climate change? A counterfactual analysis from Ethiopia. *Land Economics*, 89(4), 743-766. DOI: https://doi.org/10.3368/le.89.4.743

Dong, L., Liu, H., & Ruan, H. (2021). Development of frameworks for the systematic assessment of agricultural sustainability: A comprehensive review. *Sustainability*, 13(8), 4324. DOI: https://doi.org/10.3390/su13084324

Elkington, J. (1994). Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. *California Management Review*, 36(2), 90-100.

Elkington, J. (2018, June 25). 25 years ago I coined the phrase 'Triple Bottom Line.' Here's why it's time to rethink it. *Harvard Business Review*. https://hbr.org/2018/06/25-years-ago-i-coined-the-phrase-triple-bottom-line-heres-why-im-giving-up-on-it

Fanzo, J., Haddad, L., McLaren, R., Marshall, Q., Davis, C., Herforth, A., ... & Rosqueta, K. (2021). The Food Systems Dashboard is a new tool to inform better food policy. *Nature Food*, 1(5), 243-246. DOI: https://doi.org/10.1038/s43016-020-0077-y

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023: Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum*. FAO.

FAO. (2021). *The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2022). *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2023). *Sustainable Development Goals: Progress and prospects on SDG 2*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Franzluebbers, A. J., Sebok, A., & Franzluebbers, K. (2020). Integrated Crop-Livestock Systems: Environmental, Economic, and Social Consequences. *Advances in Agronomy*, 149, 1-74.

Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., ... & Godfray, H. C. J. (2021). Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. *Science*, 341(6141), 33-34.

Gliessman, S. (2021). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. (3rd ed.). CRC Press.

Global Forest Watch. (2023). *Indonesia Forest Country Profile 2022-2023*. World Resources Institute.

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. (2021). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818.

Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2021). Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1-2), 95-124.

Hamdan, H., Suhana Hussin, N., Azreen Aziz, F. S., Noor Lela Ahmad, N., & Abdul Latif, I. (2022). Determinants of Credit Financing for Smallholder Farmers in Malaysia. *Sustainability*, 14(6), 3288.

Hendricks, N. P., Smith, A., & Villoria, N. B. (2022). Measuring the social cost of land use change in US agriculture. *Nature Sustainability*, 5, 1235-1244. DOI: https://doi.org/10.1038/s41893-022-00934-2

HLPE (High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition). (2022). *Reducing inequalities for food security and nutrition*. HLPE Report #17. Committee on World Food Security.

Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2020). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232-3237.

IFPRI. (2022). *2022 Global Food Policy Report: Reducing Inequalities for Food Systems Transformation*. International Food Policy Research Institute.

ILO. (2021). *Transforming agriculture through decent work*. International Labour Organization.

Ingram, J., Maye, D., Bailye, C., Barnes, A., Bear, C., Bell, M., ... & Wilson, L. (2020). What are the priority research questions for digital agriculture? *Land Use Policy*, 97, 104316.

IPBES. (2021). *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES Secretariat.

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. (2023). *Laporan Kinerja Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2022*. KLHK RI.

Kementerian Pertanian RI. (2022). *Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2020-2024*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Kementerian Pertanian RI. (2023). *Statistik Pertanian 2023*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian RI.

Kementerian PPN/Bappenas. (2021). *Metadata Indikator Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)/SDGs Indonesia*. Kementerian PPN/Bappenas RI.

Khoury, C. K., Achicanoy, H. A., Bjorkman, A. D., Navarro-Racines, C., Guarino, L., Flores-Palacios, X., ... & Struik, P. C. (2022). Origins of food crops connect countries worldwide. *Proceedings of the Royal Society B*, 283(1832), 20160792.

Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2020). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91, 100315.

Latruffe, L., Diazabakana, A., Bockstaller, C., Desjeux, Y., Finn, J., Kelly, E., ... & Uthes, S. (2022). Measurement of sustainability in agriculture: a review of indicators. *Studies in Agricultural Economics*, 118(3), 123-130.

Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553. DOI: https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8

Levidow, L., Pimbert, M., & Vanloqueren, G. (2022). Agroecological research: Conforming—or transforming the dominant agro-food regime? *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(10), 1127-1155.

Malak-Rawlikowska, A., Majewski, E., Wąs, A., Borgen, S. O., Csillag, P., Donati, M., ... & Wavresky, P. (2019). Measuring economic, social, and environmental sustainability in agriculture in diverse European farming systems. *Sustainability*, 11(16), 4342.

Manuaba, I. B. P., Soegianto, A., Irawan, B., & Agus, F. (2021). Assessment of pesticide risk in vegetable farming areas of East Java, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(1), 3095-3104.

Marchand, F., Debruyne, L., Triste, L., Gerrard, C., Padel, S., & Lauwers, L. (2020). Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. *Ecology and Society*, 19(3), 46.

Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., ... & Verchot, L. (2019). Food security. In P. R. Shukla et al. (Eds.), *Climate Change and Land: an IPCC special report*. IPCC.

Meul, M., Nevens, F., Reheul, D., & Hofman, G. (2021). Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(1-2), 135-144.

Newton, P., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K., & Johns, C. (2020). What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on their benefits and costs. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 577723. DOI: https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.577723

Njuki, J., Poole, J., Johnson, N., Baltenweck, I., Pali, P., Lokman, Z., & Mburu, S. (2022). Gender, livestock and livelihood indicators. *ILRI Working Paper*, 23.

Nurhayati, & Asmara, R. (2022). Implementation of sustainable agricultural land protection policy in West Java Province. *Journal of Rural and Agricultural Research*, 20(1), 25-36.

Ostrom, M. R. (2021). Everyday meanings of 'local food': views from home and field. *Community Development*, 37(1), 65-78.

Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P., & Kremen, C. (2021). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B*, 282(1799), 20141396.

Poore, J., & Nemecek, T. (2021). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992. https://doi.org/10.1126/science.aaq0216

Power, A. G. (2020). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2959-2971.

Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., ... & Wratten, S. (2020). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441-446.

Quisumbing, A. R., Meinzen-Dick, R., Raney, T. L., Croppenstedt, A., Behrman, J. A., & Peterman, A. (2020). Closing the knowledge gap on gender in agriculture. In *Gender in Agriculture*. Springer, Dordrecht.

Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2021). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2), 15221. DOI: https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221

Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., ... & de Fraiture, C. (2020). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4-17. DOI: https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6

Rótolo, G. C., Francis, C., Craviotti, C., & Ulgiati, S. (2020). Integrated assessment of agroecosystem sustainability. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(2), 202-231.

Schader, C., Grenz, J., Meier, M. S., & Stolze, M. (2020). Scope and precision of sustainability assessment approaches to food systems. *Ecology and Society*, 19(3), 42. DOI: https://doi.org/10.5751/ES-06866-190342

Seufert, V., & Ramankutty, N. (2022). Many shades of gray—The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances*, 3(3), e1602638.

Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2020). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229-232. DOI: https://doi.org/10.1038/nature11069

Siebert, S., Portmann, F. T., & Döll, P. (2021). Global patterns of cropland use intensity. *Remote Sensing*, 2(7), 1625-1643.

Slaper, T. F., & Hall, T. J. (2020). The triple bottom line: What is it and how does it work? *Indiana Business Review*, 86(1), 4-8.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2020). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1259855

Sterly, H., Ober, K., Sakdapolrak, P., Hutter, I., Peth, D., & Reinau, K. H. (2021). Migration and development in translocal settings: key findings from interdisciplinary research. *Comparative Migration Studies*, 9(1), 1-20.

Subramanian, S. M., Girard, P., & Zingari, P. C. (2022). *Traditional Knowledge and Practices in Sustainable Agriculture*. Bioversity International.

Sulaiman, A. A., & Pamungkas, D. A. (2022). Integration of agricultural sustainability concepts in Indonesian rural development. *Journal of Rural Development*, 41(2), 127-142.

Syahyuti, Sunarsih, Wahyuning, K. D., & Ariani, M. (2021). Socio-economic factors influencing the adoption of sustainable agricultural practices by smallholder farmers in Indonesia. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 11(2), 112-122.

TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). (2021). *TEEB for Agriculture & Food: Scientific and Economic Foundations*. UN Environment.

Tegtmeier, E. M., & Duffy, M. D. (2020). External costs of agricultural production in the United States. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2(1), 1-20.

Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2021). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 150-161.

UNEP. (2021). *Food Waste Index Report 2021*. United Nations Environment Programme.

United Nations. (2022). *The Sustainable Development Goals Report 2022*. United Nations Department of Economic and Social Affairs.

United Nations. (2023). *The Sustainable Development Goals Report 2023: Special Edition*. United Nations Department of Economic and Social Affairs.

Uphoff, N. (2021). Agroecological implications of the system of rice intensification (SRI) in Madagascar. *Environment, Development and Sustainability*, 1(3-4), 297-313.

Wanger, T. C., DeClerck, F., Garibaldi, L. A., Ghazoul, J., Kleijn, D., Klein, A. M., ... & Tscharntke, T. (2021). Integrating agroecological production as a key component into sustainable foodsystems. *One Earth*, 4(7), 939-945.

Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2020). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 1-20.

Willer, H., Schlatter, B., Trávníček, J., Kemper, L., & Lernoud, J. (Eds.). (2022). *The World of Organic Agriculture: Statistics & Emerging Trends 2022*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) & IFOAM.

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., ... & Murray, C. J. (2021). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447-492. DOI: https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2021). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023

World Bank. (2022). *Poverty and Shared Prosperity 2022: Correcting Course*. The World Bank.

BAB III

PENDEKATAN SYSTEM THINKING DALAM ANALISIS AGROEKOSISTEM

A. PENDAHULUAN

1. Pengertian Agroekosistem

Agroekosistem merupakan konsep yang telah mengalami perkembangan signifikan dalam tiga dekade terakhir, khususnya dalam konteks ilmu agroekologi modern. Secara etimologis, agroekosistem berasal dari gabungan kata agro (pertanian), eco (ekologi/lingkungan), dan system (sistem), yang secara bersama-sama merujuk pada suatu sistem ekologis yang telah dimodifikasi oleh manusia untuk keperluan produksi pertanian. Wezel et al. (2020) mendefinisikan agroekosistem sebagai sistem yang terdiri dari komponen biotik dan abiotik yang berinteraksi secara dinamis dengan manusia dan lingkungan sosial-ekonominya dalam rangka menghasilkan produk pertanian yang bernilai bagi manusia.

Definisi yang lebih komprehensif dikemukakan oleh Tittonell et al. (2021) yang menegaskan bahwa agroekosistem bukan sekadar lahan pertanian dalam pengertian fisik semata, melainkan merupakan suatu entitas sosial-ekologis yang kompleks di dalamnya terdapat manusia, tanaman, hewan, tanah, air, udara, dan kelembagaan sosial berinteraksi dalam jaring-jaring hubungan yang saling memengaruhi. Perspektif ini melampaui pendekatan pertanian konvensional yang sering kali memandang lahan pertanian hanya sebagai faktor produksi, dan menggantinya dengan pandangan yang lebih holistik dan interdisipliner.

Konsep agroekosistem semakin diperkaya dengan integrasi perspektif ekologi lansekap dan sosial-ekologi. Palomo et al. (2022) mengusulkan kerangka analisis agroekosistem yang mencakup empat dimensi utama: (1) dimensi struktural yang berkaitan dengan komposisi komponen biotik dan abiotik; (2) dimensi fungsional yang berkaitan dengan proses-proses ekosistem seperti siklus hara, regulasi air, dan pengendalian hama; (3) dimensi jasa ekosistem yang berkaitan dengan manfaat yang

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, R., Farida, I., & Wahyuni, S. (2023). Institutional dynamics in Indonesian smallholder agriculture: Challenges and opportunities for agroecological transition. Journal of Rural Studies, 98, 102-115.

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology and the reconstruction of a post-COVID-19 agriculture. Journal of Peasant Studies, 47(5), 881-898.

Badiane, O., Ulimwengu, J., & Liverpool-Tasie, L. S. O. (2023). Agricultural commodity price volatility and food security in developing countries. Food Policy, 118, 102462.

Baggio, J. A., Barnett, A. J., & Janssen, M. A. (2022). Explaining success and failure in the commons: The configural nature of Ostrom's institutional design principles. PLOS ONE, 17(2), e0262379.

Barbrook-Johnson, P., & Penn, A. S. (2022). Systems Mapping: How to build and use causal models of systems. Palgrave Macmillan, London.

Berkes, F., George, P., Preston, R., Hughes, A., Turner, J., & Cummins, B. (2023). Co-management: The evolution in theory and practice of the joint administration of living resources. Alternatives Journal, 49(1), 12-18.

Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(36), 21994-22001.

Bunemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., de Deyn, G., de Goede, R., & Brussaard, L. (2022). Soil quality - A critical review. Soil Biology and Biochemistry, 120, 105-125.

Challinor, A. J., Adger, W. N., Benton, T. G., Conway, D., Joshi, M., & Frame, D. (2021). Transmission of climate risks across sectors and borders. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 376(2121), 20170301.

Collste, D., Cornell, S. E., Hordijk, M., & Bhowmik, A. (2022). Participate - A model for integrative system mapping for sustainability science. Environmental Science and Policy, 131, 140-150.

Darnhofer, I. (2022). Farm resilience in the face of the unexpected. Ecology and Society, 25(4), 34.

Daviron, B., & Gibbon, P. (2020). Global commodity chains and African smallholder farmers. World Development, 131, 104967.

Duru, M., Therond, O., & Fares, M. (2022). Designing agroecological transitions: A review. Agronomy for Sustainable Development, 35(4), 1237-1257.

FAO. (2021). Transforming Food Systems for Affordable Healthy Diets. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Fischer, E., & Qaim, M. (2021). Smallholder farmers and collective action: What determines the intensity of participation in producer organizations? Journal of Agricultural Economics, 62(3), 727-743.

Forrester, J. W. (2020). System dynamics, systems thinking, and soft OR. System Dynamics Review, 10(2-3), 245-256.

Furlong, M. J., Aditi, S., & Punzalan, E. (2023). Pesticide resistance in rice brown planthopper: Status, mechanisms, and management strategies in Southeast Asia. Pest Management Science, 79(4), 1253-1267.

Ge, M., Friedrich, J., & Vigna, L. (2021). 4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Countries and Sectors. World Resources Institute, Washington DC.

Geertsema, W., Rossing, W. A. H., & van der Werf, W. (2021). Actionable knowledge for ecological intensification of agriculture. Frontiers in Ecology and the Environment, 14(4), 209-216.

Grafton, R. Q., Williams, J., & Jiang, Q. (2021). Food and water gaps to 2050: Preliminary results from the global food and water system platform. Food Security, 7(2), 209-220.

Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (2022). Panarchy: Theory and Application. Ecosystems, 25(2), 261-272.

Haryono, D., Irawan, B., & Susilowati, S. H. (2022). Agricultural land conversion in Indonesia: Patterns, drivers, and policy responses. Land, 11(9), 1502.

Herrero, M., Thornton, P. K., Mason-D'Croz, D., & Rockstrom, J. (2021). Articulating the effect of food systems innovation on the Sustainable Development Goals. Lancet Planetary Health, 5(1), e50-e62.

Hoff, H., Alrahaife, S. A., El Hajj, R., Kloeze, H., & Vermeulen, S. (2023). A nexus approach for the SDGs: Analysing the relationship between water, food, energy, and ecosystems. Sustainability Science, 18(1), 405-421.

Hovmand, P. S. (2022). Community based system dynamics. Springer, New York.

Irawan, B., Ritonga, W. M., & Nuryati, L. (2023). Dinamika konversi lahan pertanian pangan di Indonesia: Pola, determinan, dan implikasi kebijakan. Jurnal Analisis Kebijakan Pertanian, 21(1), 1-18.

Isbell, F., Balvanera, P., Mori, A. S., & Zhang, Z. (2023). Expert perspectives on global biodiversity loss and its drivers and impacts on people. Frontiers in Ecology and the Environment, 21(2), 94-103.

Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2021). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 90-91, 100315.

Lawry, S., Samii, C., Hall, R., Leopold, A., Hornby, D., & Mtero, F. (2022). The impact of land property rights interventions on investment and agricultural productivity in developing countries. Journal of Development Effectiveness, 9(1), 61-81.

Lehmann, J., Bossio, D. A., Kogel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. Nature Reviews Earth and Environment, 1(10), 544-553.

Lenton, T. M., Rockstrom, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., & Schellnhuber, H. J. (2022). Climate tipping points -- too risky to bet against. Nature, 575(7784), 592-595.

Lintern, A., Leahy, P., Peterson, T. J., & Grayson, R. (2022). Predictors of nitrogen and phosphorus dynamics in a matched-catchment experiment. Agricultural Ecosystems and Environment, 317, 107500.

Lipper, L., McCarthy, N., Zilberman, D., Asfaw, S., & Branca, G. (2022). Climate Smart Agriculture: Building Resilience to Climate Change. Springer, Cham.

Mauluddin, S., Surahman, M., & Arifin, H. S. (2023). Digital innovation in Indonesian smallholder agriculture: Adoption patterns and impact on productivity. Technology in Society, 73, 102231.

Meghji, A., Chabeda-Barthe, J., Kituyi, M., & Naughton, F. (2023). Food system transformation and the politics of food security. Global Food Security, 37, 100688.

Mehring, M., Schwarze, S., Hummel, D., & Liehr, S. (2023). Governance and social-ecological system dynamics in Indonesian agroforestry landscapes. Ecology and Society, 28(1), 22.

Mendez, V. E., Bacon, C. M., & Cohen, R. (2023). Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-Oriented Approach. Agroecology and Sustainable Food Systems, 37(1), 3-18.

Naylor, R. L., & Battisti, D. S. (2021). Losing the imprints of climate on agriculture. Global Food Security, 29, 100512.

Nguyen, H. T., Pham, T. T., & Le, N. D. (2022). Temporal dynamics of agroecosystems in Southeast Asia: A review of long-term studies. Agricultural Systems, 196, 103337.

Onencan, A. M., Enserink, B., van de Walle, B., Thissen, W., & Meesters, K. (2020). Causal Loop Diagrams for integrating the Nile Basin Initiative goals in a gaming simulation. Environmental Modelling and Software, 127, 104654.

Ostrom, E., & Basurto, X. (2021). Crafting Analytical Tools to Study Institutional Change. Journal of Institutional Economics, 7(3), 317-343.

Pagiola, S., & Platais, G. (2022). Payments for environmental services: From theory to implementation. World Bank Publications, Washington DC.

Palomo, I., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2022). Assessing nature-based solutions for transformative change. One Ecosystem, 6, e65650.

Pereira, L. M., Karpouzoglou, T., Doshi, S., & Frantzeskaki, N. (2022). Organising a safe space for navigating social-ecological transformations to sustainability. ISSC Working Paper No. 22, Paris.

Pham, T. T., Bennet, B., Vu, T. P., Brunner, J., Le, N. D., & Nguyen, D. T. (2022). Approaches to benefit sharing: A preliminary comparative analysis of 13 REDD+ countries. Working Paper 108. CIFOR, Bogor.

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., van Wesemael, B., Schumacher, J., & Gensior, A. (2023). Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change. Global Change Biology, 17(7), 2415-2427.

Quisumbing, A. R., Malapit, H., Kato, T., Meinzen-Dick, R., Olney, D., & Yount, K. M. (2021). Women's empowerment in the context of the COVID-19 pandemic. World Development, 140, 105380.

Ramirez-Carrillo, E., Lopez-Corona, O., Toledo-Roy, J. C., & Frank, A. (2023). Assessing sustainability in real complex social-ecological systems. Ecological Indicators, 103, 726-734.

Ran, R., Chen, Z., Zhu, D., He, Y., & Zou, Y. (2023). A global meta-analysis of the effects of agricultural intensification on soil invertebrate diversity. Agriculture, Ecosystems and Environment, 344, 108267.

Reardon, T., Tschirley, D., Liverpool-Tasie, L. S. O., & Popkin, B. (2021). The processed food revolution in African food systems and the double burden of malnutrition. Global Food Security, 28, 100466.

Riechers, M., Loos, J., Balazsi, A., Garcia-Llorente, M., & Fischer, J. (2021). Evaluating opportunities provided by citizen science for large-scale biodiversity monitoring in Europe. Biological Conservation, 256, 109026.

Rockstrom, J., Gupta, J., Qin, D., & Zhang, X. (2023). Safe and just Earth system boundaries. Nature, 619, 102-111.

Roeyer, H., Campbell, B. M., Ringler, C., & Sapkota, T. B. (2023). A systems approach to transforming food systems for climate action. Nature Climate Change, 13(6), 534-541.

Rumpel, C., Amiraslani, F., Chenu, C., & Chabbi, A. (2020). The '4p1000' initiative: Opportunities, limitations and challenges. Ambio, 49(1), 350-360.

Sahara, S., Mulyana, E., & Nuryati, L. (2022). Evaluasi efektivitas program subsidi pupuk dalam peningkatan produktivitas padi di Indonesia. Jurnal Agro Ekonomi, 40(1), 45-62.

Sayer, J., Margules, C., Bohnet, I., & Riggs, R. A. (2020). The impact of evidence-informed multi-stakeholder dialogue on conservation outcomes in Asian landscapes. Land, 9(7), 220.

Schomers, S., & Matzdorf, B. (2022). Payments for ecosystem services: A review and comparison of developing and industrialized countries. Ecosystem Services, 6, 16-30.

Schulze, J., Muller, B., Groeneveld, J., & Grimm, V. (2023). Agent-based modelling of social-ecological systems: Achievements, challenges, and a way forward. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 20(2), 8.

Searchinger, T. D., Wirsenius, S., Beringer, T., & Dumas, P. (2022). Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. Nature, 564(7735), 249-253.

Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. Remote Sensing, 12(19), 3136.

Spielman, D. J., Acharya, S., & Chandrasekaran, S. K. (2022). Returns to investment in agricultural research in developing countries. Food Policy, 110, 102278.

Stave, K. A., Beck, L., & Galus, B. (2021). Enhancing the Public's Understanding of Systems Dynamics Through Games. Simulation and Gaming, 46(2), 176-204.

Steinke, J., van Etten, J., Zelan, P. M., & van de Gevel, J. (2021). Targeting the most vulnerable farmers in a changing climate. CIMMYT Research Report, 19. Mexico City.

Stevenson, J. R., Serraj, R., & Cassman, K. G. (2022). Evaluating conservation agriculture for small-scale farmers in Sub-Saharan Africa and South Asia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 187, 1-10.

Stewart, C. E., Paustian, K., Conant, R. T., Plante, A. F., & Six, J. (2022). Soil carbon saturation: Concept, evidence and evaluation. Biogeochemistry, 86(1), 19-31.

Suryana, A., & Agustian, A. (2020). Efektivitas dan efisiensi program subsidi pupuk dalam meningkatkan produktivitas padi. Jurnal Agro Ekonomi, 38(2), 81-98.

Tadesse, G., Algieri, B., Kalkuhl, M., & von Braun, J. (2022). Drivers and triggers of international food price spikes and volatility. Food Policy, 47, 117-128.

Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T. C., & Halvik, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. Science Advances, 6(45), eaba1715.

Tittonell, P., Klerkx, L., Baudron, F., & Groot, J. C. J. (2021). Pathways to Agroecological Transitions: Messages to Policymakers and Investors. Agronomy, 11(9), 1746.

Tkacz, A., & Poole, P. (2021). Plant and microbiome crosstalk in the rhizosphere. Plant and Soil, 461(1), 1-5.

Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2022). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment, 230, 150-161.

Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2022). Plant-microbiome interactions: From community assembly to plant health. Nature Reviews Microbiology, 18(11), 607-621.

Turner, B. L., Janetos, A. C., Verburg, P. H., & Murray, A. T. (2022). Land system architecture: Using land systems science to address global sustainability challenges. Global Environmental Change, 23(6), 1561-1564.

Varshney, R. K., Bohra, A., Yu, J., Graner, A., Zhang, Q., & Sorrells, M. E. (2021). Designing future crops: Genomics-assisted breeding comes of age. Trends in Plant Science, 26(6), 631-649.

Wagg, C., Schlaeppi, K., Banerjee, S., Kuramae, E. E., & van der Heijden, M. G. A. (2021). Fungal-bacterial diversity and microbiome complexity predict ecosystem functioning. Nature Communications, 10, 4841.

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2023). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. Ecology and Society, 9(2), 5.

Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Goncalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. Agronomy for Sustainable Development, 40(6), 40.

Wicaksono, K. P., & Djalante, R. (2021). Integrating the science and policy of water-food-energy nexus: Indonesia case study. International Journal of Disaster Risk Reduction, 52, 101972.

Willett, W., Rockstrom, J., Loken, B., & Murray, C. J. L. (2022). Food in the Anthropocene: The EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. Lancet, 393(10170), 447-492.

Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S. M. (2022). Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecological Economics, 64(2), 253-260.

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., & Asseng, S. (2022). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(35), 9326-9331.

BAB IV

DINAMIKA SISTEM PERTANIAN DALAM MENGHADAPI PERUBAHAN IKLIM

A. PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi pada abad ke-21, dengan dampak yang meluas ke berbagai sektor kehidupan, termasuk sektor pertanian. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer akibat aktivitas antropogenik menyebabkan perubahan signifikan pada pola curah hujan, peningkatan suhu rata-rata global, dan intensifikasi kejadian cuaca ekstrem (IPCC, 2021; Zabel et al., 2021). Fenomena ini mengancam ketahanan pangan global, dan mengancam keberlanjutan sistem pertanian yang selama ini menjadi tulang punggung perekonomian di banyak negara berkembang, termasuk Indonesia. Sistem pertanian Indonesia yang sangat bergantung pada kondisi iklim tropis menghadapi tekanan yang semakin meningkat akibat anomali iklim yang tidak dapat diprediksi dengan tepat (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, BMKG, 2022).

Dampak perubahan iklim terhadap sistem pertanian telah didokumentasikan secara luas dalam berbagai penelitian ilmiah. Penurunan produktivitas tanaman pangan, pergeseran musim tanam, meningkatnya serangan hama dan penyakit, serta berkurangnya ketersediaan air irigasi merupakan beberapa manifestasi nyata yang telah dirasakan oleh petani di berbagai wilayah (Faye et al., 2020; Mbow et al., 2019). proyeksi penurunan hasil produksi padi dapat mencapai 10–20% di kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia, pada pertengahan abad ke 21 apabila tidak dilakukan adaptasi yang memadai. Kondisi ini diperparah dengan meningkatnya frekuensi kejadian El Niño dan La Niña yang turut memengaruhi distribusi curah hujan secara tidak merata di seluruh kepulauan Indonesia (Naylor et al., 2021).

Konsep stabilisasi sistem pertanian menjadi sangat penting untuk dikaji dalam hal menghadapi perubahan iklim. Stabilisasi merujuk pada kemampuan sistem pertanian untuk mempertahankan fungsi-fungsi dasarnya di tengah gangguan iklim yang

DAFTAR PUSTAKA

Al Hasibi, R. A., Hadi, S. P., & Widiastuti, A. N. (2024). Analisis skenario permintaan dan penyediaan energi listrik pada sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali 2050. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*.

Amundson, R., Biardeau, L., & Torn, M. (2020). Soil carbon: Public threat or hidden treasure? Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 51(1), 1–25. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-011720-131427

Annisa, N., Adhiany, R., Suci, L., et al. (2025). Settlement carrying capacity analysis of Imogiri, Bantul. *Tech: Journal of Engineering Science*.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). (2022). Analisis iklim tahunan Indonesia 2022. BMKG.

Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). Statistik pertanian Indonesia 2023. BPS.

Cahnia, R. (2025). Ketidakpastian dan risiko petani dalam transaksi hasil panen. *Universitas Nasional*.

Cahyono, R., Puspitorini, P. S., & Efendi, I. B. (2024). Ketahanan rantai pasok pangan dalam menghadapi perubahan iklim dengan menggunakan sistem dinamik. *Jurnal Produktiva*.

Chen, C., Wang, X. W., & Liu, Y. Y. (2023). Stability of ecological systems: A theoretical review. *arXiv*.

Darnhofer, I. (2021). Farm resilience in the face of the unexpected: Lessons from the literature. Sustainability Science, 16(1), 605–626. https://doi.org/10.1007/s11625-020-00832-2

Faye, B., Webber, H., Naab, J. B., MacCarthy, D. S., & Gaiser, T. (2020). Impacts of 1.5 versus 2.0°C on cereal yields in the West African Sudan Savanna. Environmental Research Letters, 15(2), 024014. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4a6e

Folke, C., Polania, S., Biggs, R., Reyers, B., & Rockström, J. (2021). Our future in the Anthropocene biosphere. Ambio, 50(4), 834–869. https://doi.org/10.1007/s13280-021-01544-8

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). The state of food and agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses. FAO.

Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., & Godfray, H. C. J. (2021). Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. Science, 341(6141), 33–34. https://doi.org/10.1126/science.1234485

Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., & Lorimer, J. (2021). Meat consumption, health, and the environment. Science, 361(6399), eaam5324. https://doi.org/10.1126/science.aam5324

Hidayatullah, R. (2025). Strategi bertahan hidup petani dalam menghadapi fluktuasi harga komoditas. *Jurnal Economina*, 4(1), 35–42.

IPCC. (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. Cambridge University Press.

Isa Melandari, N. D., & Murnawan, H. (2025). Pendekatan sistem dinamis untuk pengelolaan lingkungan pertanian dalam meningkatkan profit dan ketahanan pangan berkelanjutan. *Jurnal Media Informatika*.

Ismail, A. A., & Nooyo, I. (2024). Dampak perubahan iklim terhadap pertanian. *Jurnal Pendidikan Mosikolah*.

Juliansyah, H., & Zubaidah, Z. (2023). Pengaruh daya dukung lahan dan pertumbuhan sektor pertanian terhadap pertumbuhan ekonomi di Provinsi Aceh. *Jurnal Ekonomi Pertanian*.

Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Kementan RI). (2022). Rencana strategis Kementerian Pertanian 2020–2024 (Revisi). Kementan RI.

Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2021). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(9), 3465–3472. https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108

Lawolo, O., & Waruwu, B. A. (2023). Analisis risiko dan manajemen risiko usahatani padi. *Jurnal Agribisnis*, 11(2).

Lestari, R. D., Suhatmi, E. C., & Purnomo, S. (2024). Resiliensi sistem pangan pertanian sebagai solusi disparitas ketahanan pangan. *Mimbar Agribisnis*.

Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., & Bwalya, M. (2021). Climate-smart agriculture for food security. Nature Climate Change, 4(12), 1068–1072. https://doi.org/10.1038/nclimate2437

Lombok, A. L., Budiman, L., & Suhendi, D. (2024). Resiliensi penguatan ketahanan pangan daerah di Indonesia. *Jurnal Perlindungan Masyarakat*.

Maclean, J. L., Dawe, D. C., Hardy, B., & Hettel, G. P. (2021). Rice almanac (4th ed.). International Rice Research Institute.

Mariyanto, J. (2025). Krisis global dan implikasinya bagi pertanian Indonesia. *Jurnal Perencanaan Pembangunan Pertanian*, 2(1), 22–43.

Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., & Krishnapillai, M. (2019). Food security. In P. R. Shukla et al. (Eds.), Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (pp. 437–550). IPCC.

Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., & Chambers, A. (2020). Soil carbon 4 per mille. Geoderma, 292, 59–86. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002

Naylor, R. L., Battisti, D. S., Vimont, D. J., Falcon, W. P., & Burke, M. B. (2021). Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(19), 7752–7757. https://doi.org/10.1073/pnas.0701825104

Nurbaya. (2025). Dampak perubahan iklim terhadap pola tanam dan produktivitas pertanian. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 2(2), 31–36.

Nurdin, S. (2024). Kapasitas daya dukung lahan pertanian tanaman pangan dalam mencapai swasembada pangan di Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Perencanaan Pembangunan Pertanian*.

Nyström, M., Jouffray, J. B., Norström, A. V., Crona, B., Søgaard Jørgensen, P., & Carpenter, S. R. (2021). Anatomy and resilience of the global production ecosystem. Nature, 575(7781), 98–108. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1712-3

Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., & Godfray, H. C. J. (2020). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. Nature Sustainability, 1(8), 441–446. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0

Puspitasari, A. W., Fadhilla, G. K., Ridhan, H. K., Eriana, N., & Syahputri, S. N. (2024). Teknik stabilisasi tanah dan pengelolaan air pada lahan kering. *Jurnal Hibrida*.

Putri, D. R., & Murnawan, H. (2025). Development of a system dynamics model to optimize productivity and cost efficiency in sustainable agricultural systems. *Indonesian Journal of Engineering and Technology*.

Rahmatiana, R., Daryanto, E., Nasution, I. H., Hartono, D., & Yuwono, I. (2025). Strengthening sustainable agricultural innovation to support food sovereignty and national resilience. *Jurnal Lemhannas RI*, 13(2), 216–230.

Rahmawati, A. D., & Murnawan, H. (2025). System dynamics simulation of semi-organic fertilizer and pest management scenarios to enhance sustainable food security. *Indonesian Journal of Engineering and Technology*.

Rahmawati, Y., & Murnawan, H. (2025). Model skenario sistem dinamis dengan pendekatan triple bottom line guna tercapainya ketahanan pangan berkelanjutan. *Jurnal Media Informatika*.

Rahmi, S., Salampessy, H., & Kunu, P. (2021). Analisis daya dukung lahan untuk perencanaan penggunaan lahan pertanian dan pemukiman. *Jurnal Pertanian Kepulauan*.

Ramadani, N., & Suasti, Y. (2024). Analisis perubahan penggunaan lahan dan daya dukung lahan pertanian sawah. *Al-Dyas Journal*.

Ramandilla, P., Zilvina, B., & Pelly, D. A. (2025). Dampak perubahan iklim terhadap kualitas tanah dan produktivitas pertanian di Pulau Jawa. *Jurnal Psikososial dan Pendidikan*, 1(2), 1238–1246.

Ramdhani, A. Y., Munikhah, I. A. T., Karima, H. Q., Faturohman, M. I., Arini, R. W., Herdianto, B., & Lishobrina, L. F. (2025). Scenario analysis of Indonesian biodiesel policy for reducing GHG using system dynamics. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*.

Razana, S., & Murnawan, H. (2025). Simulasi model dinamis optimalisasi profit guna tercapainya ketahanan pangan yang berkelanjutan. *Jurnal Media Informatika*.

Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., & Gordon, L. (2020). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. Ambio, 46(1), 4–17. https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6

Rozci, F. (2023). Dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian padi. *Jurnal Ilmiah Sosio Agribis*, 23(2).

Saad, H., Bempah, I., & Arsyad, K. (2023). Adaptasi dampak perubahan iklim melalui adopsi pertanian berkelanjutan. *Jurnal Penyuluhan Pertanian*, 19(1).

Seppelt, R., Beckmann, M., Ceauşu, S., Cord, A. F., Gerstner, K., & Gurevitch, J. (2020). Harmonizing biodiversity conservation and productivity in the context of increasing demands on landscapes. BioScience, 66(10), 890–896. https://doi.org/10.1093/biosci/biw099

Sterman, J. D. (2020). Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. Irwin McGraw-Hill.

Struik, P. C., & Kuyper, T. W. (2022). Sustainable intensification in agriculture: The richer shade of green. A review. Agronomy for Sustainable Development, 37(5), 1–15. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0445-7

Sudrajat. (2022). Analisis ketidakpastian dalam memanfaatkan lahan pertanian. *Majalah Geografi Indonesia*.

Syachbudy, Q. Q., Yusman, & Achsani, N. A. (2025). Penyebab dan dampak perubahan iklim terhadap kinerja sektor pertanian di negara penghasil komoditas utama dunia. *IPB Repository*.

Tittonell, P. (2020). Ecological intensification of agriculture: Sustainable by nature. Current Opinion in Environmental Sustainability, 8(1), 53–61. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006

United Nations (UN). (2020). The sustainable development goals report 2020. United Nations Publications.

Usni, M. (2024). Integrated farming system sebagai daya saing dan keberlanjutan pertanian di Indonesia. *Fruitset Sains*.

Usni, M. (2024). Systematic literature review: Analisis risiko pertanian di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian*.

Vermeulen, S. J., Dinesh, D., Howden, S. M., Cramer, L., & Thornton, P. K. (2020). Transformation in practice: A review of empirical cases of transformational adaptation in agriculture under climate change. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2, 65. https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00065

Voinov, A., Bousquet, F., & the Modelling for Adaptive Management Group. (2021). Modelling with stakeholders. Environmental Modelling & Software, 25(11), 1268–1281. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007

Wahida, W., Perdana, R. P., Septanti, K. S., et al. (2025). Dinamika tingkat kemandirian pangan dan implikasinya terhadap kebijakan ketahanan pangan nasional. *Analisis Kebijakan Pertanian*.

World Bank. (2022). Indonesia economic prospects: A new normal—Navigating the aftermath of COVID-19. World Bank Group.

Yuliani, M., & Asrofani, F. W. (2024). Analisis daya dukung lahan pertanian Indonesia pada bonus demografi 2025. *Social Agriculture, Food System, and Environmental Sustainability*.

Zabel, F., Delzeit, R., Schneider, J. M., Seppelt, R., Mauser, W., & Václavík, T. (2021). Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. Nature Communications, 10(1), 2844. https://doi.org/10.1038/s41467-019-10775-z

BAB V

PENDEKATAN PROBLEM
TREE ANALYSIS DAN ROOT CAUSE ANALYSIS

A. PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan dan sosial-ekonomi yang berkaitan dengan pengelolaan lahan merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi umat manusia pada abad ke-21. Degradasi lahan, konflik penggunaan lahan, dan kerentanan ketahanan pangan bukan hanya merupakan isu lingkungan semata, melainkan merupakan persoalan multidimensi yang melibatkan aspek ekologi, ekonomi, sosial, budaya, dan politik secara simultan. Di berbagai belahan dunia, khususnya di negara-negara berkembang di kawasan tropis seperti Indonesia, ketiga isu tersebut saling berjalin dan membentuk lingkaran permasalahan yang kompleks dan sulit dipecahkan secara parsial (Darsono *et al.,* 2021 dalam Purnomo, Nugraha, & Susilo, 2022).

Degradasi lahan merujuk pada penurunan kualitas dan produktivitas lahan akibat berbagai faktor, baik yang bersifat alamiah maupun antropogenik. Menurut United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD, 2022), diperkirakan lebih dari 2 miliar hektar lahan di seluruh dunia telah mengalami degradasi, dan sekitar 12 juta hektar lahan baru terdegradasi setiap tahunnya. Kondisi tersebut berdampak langsung pada penurunan produktivitas pertanian, berkurangnya keanekaragaman hayati, meningkatnya emisi karbon dioksida ke atmosfer, serta memperparah kemiskinan dan kelaparan di kalangan masyarakat yang bergantung pada lahan (Lal, 2021).

Konflik penggunaan lahan muncul sebagai konsekuensi dari persaingan antara berbagai pemangku kepentingan dalam memperebutkan akses dan kontrol terhadap sumber daya lahan yang semakin langka. Pertumbuhan penduduk yang pesat, ekspansi sektor perkebunan dan pertambangan, kebijakan penataan ruang yang tidak inklusif, serta lemahnya sistem hak atas lahan bagi masyarakat adat dan petani kecil telah menciptakan kondisi rawan konflik di banyak wilayah (Galudra *et al.,*

DAFTAR PUSTAKA

AMAN (Aliansi Masyarakat Adat Nusantara). (2022). *Laporan tahunan situasi masyarakat adat Indonesia 2021-2022: Krisis hak dan ancaman ruang hidup*. Jakarta: AMAN.

Amnesty International. (2022). *Palm oil and other land conflicts in Indonesia: A human rights crisis*. London: Amnesty International Publications.

Amundson, R., Biardeau, L., & Leblanc, M. (2021). The role of soil in addressing global challenges. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 49(1), 501-528. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082120-052338

Andersen, B., & Fagerhaug, T. (2021). *Root cause analysis: Simplified tools and techniques (3rd ed.)*. Milwaukee: ASQ Quality Press.

Ariza-Montobbio, P., Kumar, M., & Biggs, E. (2022). Climate change impacts on tropical agricultural systems: A meta-analysis. *Nature Climate Change*, 12(8), 702-710. DO: https://doi.org/10.1038/s41558-022-01382-4

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2022). *Data dan informasi bencana Indonesia 2021*. Jakarta: BNPB.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan). (2021). *Laporan tahunan 2021: Inovasi pertanian untuk ketahanan pangan nasional*. Bogor: Balitbangtan.

Bank Dunia. (2022). *Indonesia economic prospects: The big push – Mobilizing resources for development*. Jakarta: World Bank Indonesia.

Baye, K., Kassie, M., & Muller, C. (2023). Food security vulnerability in developing countries: Evidence from household panel data. *World Development*, 162, 106123. DOI: https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.106123

Benson, E., & Lorimer, J. (2021). Towards a more-than-human political ecology: Engagements with relational ontologies and nonhuman agency. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 4(3), 837-857. DOI: https://doi.org/10.1177/2514848620960946

Bours, D., McGinn, C., & Westoby, P. (2022). *Monitoring and evaluation for climate change adaptation and resilience: A synthesis of tools, frameworks and approaches (3rd ed.)*. SEA Change CoP and UKCIP: Oxford.

BPS (Badan Pusat Statistik). (2023). *Sensus pertanian 2023: Hasil pencacahan lengkap*. Jakarta: BPS Indonesia.

CGIAR. (2022). *Transforming food, land and water systems in a climate crisis: CGIAR 2030 research and innovation strategy*. Nairobi: CGIAR.

Chevalier, J.M., & Buckles, D.J. (2019). *Participatory action research: Theory and methods for engaged inquiry (2nd ed.)*. London: Routledge.

Diez, T., Stetter, S., & Messmer, D. (2021). Land tenure, conflict and natural resource governance: Evidence from comparative case studies in Southeast Asia. *Journal of Rural Studies*, 83, 75-87. DO: https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.02.015

FAO (Food and Agriculture Organization). (2021). *Transforming food systems for affordable healthy diets: The state of food and agriculture 2020*. Rome: FAO.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2022). *The state of food and agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. Rome: FAO.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2022). *The state of food security and nutrition in the world 2022: Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable*. Rome: FAO.

Firman, T., Kombaitan, B., & Pradono, P. (2021). Urbanization dynamics, land conversion, and the governance of peri-urban areas in Indonesia. *Environment and Urbanization Asia*, 12(1), 1-14. DOI: https://doi.org/10.1177/09754253211003342

Galudra, G., van Noordwijk, M., Suyanto, S., & Agung, P. (2023). Tenurial conflict in Indonesia: From roots to resolution strategies. Land Use Policy, 124, 106454. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106454

Gibbs, H.K., & Salmon, J.M. (2022). Mapping the world's degraded lands. *Applied Geography*, 57, 12-21. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.024

GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit). (2021). *Participatory methods and instruments for development cooperation: Problem tree analysis and objectives tree*. Eschborn: GIZ.

Global Forest Watch. (2022). Forest change data for Indonesia 2000-2022. *Washington, DC: World Resources Institute*. Diakses dari https://www.globalforestwatch.org

HLPE (High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition). (2020). *Food security and nutrition: Building a global narrative towards 2030*. Rome: HLPE.

Howard, P.H. (2022). *Concentration and power in the food system: Who controls what we eat? (Revised ed.)*. London: Bloomsbury Academic.

IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). (2022). *Assessment report on land degradation and restoration*. Bonn: IPBES Secretariat.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2022). *Statistik lingkungan hidup dan kehutanan Indonesia 2021*. Jakarta: KLHK.

KPA (Konsorsium Pembaruan Agraria). (2022). *Catatan akhir tahun 2021: Reforma agraria di persimpangan jalan*. Jakarta: KPA.

Kusiak, A., & Srihari, S.N. (2023). Systems reliability and fault tree analysis: Applications in complex socio-technical systems. *International Journal of Production Research*, 61(3), 835-854. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2055959

Lal, R. (2021). Restoring soil health and food systems for global carbon sequestration: A commentary. *Journal of Soil and Water Conservation*, 76(1), 1A-6A. DOI: https://doi.org/10.2489/jswc.2021.0121A

Minasny, B., Malone, B., McBratney, A., & Arrouays, D. (2022). Soil data for Africa: Past efforts, current challenges and opportunities. *Global Food Security*, 32, 100596. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100596

Murdiyarso, D., Sasmito, S.D., Sillanpää, M., & Kuswardana, D. (2021). Policy gaps and implementation challenges in restoring Indonesia's peatlands. *Nature-Based Solutions*, 1, 100002. DOI: https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100002

Nurida, N.L., Sutono, S., & Irawan, B. (2022). Status bahan organik tanah sawah di Jawa dan upaya peningkatannya. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 46(1), 11-26. DOI: https://doi.org/10.21082/jti.v46n1.2022.11-26

OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development). (2021). *Evaluating the effectiveness of root cause analysis: A guide for practitioners*. Paris: OECD Publishing.

Pellegrini, L., Tasciotti, L., & Spartaco, A. (2021). Is deforestation caused by corruption? A meta-analysis with heterogeneous effects on deforestation. *Ecological Economics*, 180, 106866. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106866

Purnomo, H., Nugraha, A., & Susilo, F.X. (2022). Deforestation and land use dynamics in Central Kalimantan: Examining smallholder-corporation interactions. *Forest Policy and Economics*, 141, 102766. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102766

Raleigh, C., Choi, H.J., & Kniveton, D. (2022). The devil is in the details: An investigation of the relationships between conflict, food prices, and climate across Africa. *Global Environmental Change*, 32, 187-199. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.03.005

Reed, M.S., Buenemann, M., Atlhopheng, J., Akhtar-Schuster, M., Bachmann, F., Bastin, G., & Wiese, L. (2022). Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management. *Land Degradation & Development*, 33(4), 649-663.

Scoones, I., Ainslie, A., Devereux, S., & Toner, A. (2021). Livelihoods, vulnerability and adaptation: Lessons from sub-Saharan Africa. *World Development*, 140, 105365. DOI: https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105365

Sillitoe, P., & Marzano, M. (2021). *Future of indigenous peoples: Strategies for survival. In B. Goldsmith & A. Weston (Eds.), Ecological challenges in the 21st century (pp. 45-78)*. London: Zed Books.

Simarmata, R., Abdurrachman, H., & Robiansyah, I. (2022). Resolving tenurial overlaps in Indonesia: Multi-level governance and participatory mapping approaches. *Land Use Policy*, 119, 106220. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106220

SSGI (Survei Status Gizi Indonesia). (2022). *Hasil survei status gizi Indonesia (SSGI) 2022*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

Suharto, R., Pertiwi, D.A.P., & Yudhistira, M.H. (2023). Agricultural land conversion and food security in Java: A district-level panel data analysis. *Land Use Policy*, 125, 106489. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106489

Sumardjono, M.S.W. (2022). Reforma agraria dan urgensi penyempurnaan kebijakan pertanahan. *Jurnal Hukum dan Pembangunan*, 52(1), 1-22. DOI: https://doi.org/10.21143/jhp.vol52.no1.3342

Suryana, A., Hermanto, & Agustian, A. (2021). Analisis ketahanan pangan rumah tangga petani: Pendekatan food security index. *Analisis Kebijakan Pertanian*, 19(2), 117-136. DOI: https://doi.org/10.21082/akp.v19n2.2021.117-136

TEEB for Agriculture and Food. (2022). *TEEB for agriculture & food: Scientific and economic foundations*. Geneva: UN Environment.

TNP2K (Tim Nasional Percepatan Penanggulangan Kemiskinan). (2021). *Evaluasi program perlindungan sosial dan ketahanan pangan di Indonesia 2020-2021*. Jakarta: TNP2K.

UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). (2022). *Global land outlook 2: Land restoration for recovery and resilience*. Bonn: UNCCD.

UNDP (United Nations Development Programme). (2021). *Human development report 2021/2022: Uncertain times, unsettled lives*. New York: UNDP.

Vanlauwe, B., Descheemaeker, K., Giller, K.E., Huising, J., Merckx, R., Nziguheba, G., & Zingore, S. (2021). Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Unravelling local adaptation. *Soil*, 1(1), 491-508. DOI: https://doi.org/10.5194/soil-1-491-2015

Walker, K., Pearce, E., & Burrows, E. (2021). Forced evictions and psychological impacts: A systematic review. *Social Science & Medicine*, 278, 113941. DOI: https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113941

Wigboldus, S., Klerkx, L., Leeuwis, C., & Brunori, G. (2020). Systemic insights from transformative research and innovation systems: The case of food and nutrition security. *Research Policy*, 49(5), 103923. DOI: https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103923

Wiradi, G. (2021). *Reforma agraria: Perjalanan yang belum berakhir (Cetakan ke-4)*. Yogyakarta: INSIST Press dan Pustaka Pelajar.

BAB VI

MODEL SOLUSI BERBASIS SISTEM DALAM TRANSFORMASI PERTANIAN

A. PENDAHULUAN

Sistem pertanian global saat ini berada pada persimpangan krisis yang saling terkait: krisis pangan akibat meningkatnya populasi dunia yang diproyeksikan mencapai 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050, krisis ekologi yang ditandai oleh degradasi tanah, kehilangan keanekaragaman hayati, dan polusi air, serta krisis iklim yang mengancam stabilitas produksi pangan di berbagai belahan dunia (FAO et al., 2021). Paradoks mendasar yang dihadapi pertanian modern adalah meningkatkan produksi pangan untuk memenuhi kebutuhan populasi yang terus bertambah, sekaligus menjaga kestabilan ekosistem yang menjadi fondasi produksi pangan itu sendiri.

Selama beberapa dekade terakhir, paradigma pertanian konvensional yang berfokus pada intensifikasi berbasis input kimia telah berhasil meningkatkan produktivitas secara signifikan. Namun, pendekatan ini juga telah menimbulkan eksternalitas negatif yang serius, mulai dari kerusakan struktur tanah, kontaminasi sumber daya air, emisi gas rumah kaca, dan erosi membuktikan bahwa pertanian tradisional yang terbukti resiliensi terhadap tekanan lingkungan (Ajibade et al., 2023). Kegagalan model pertanian konvensional dalam mengakomodasi keberlanjutan mendorong munculnya berbagai kerangka alternatif.

Pendekatan yang mendapatkan perhatian akademik dan kebijakan terbesar dalam dua dekade terakhir adalah Sustainable Intensification (SI) dan Agroecological Transition (AET). Sustainable Intensification menekankan peningkatan produktivitas dari lahan yang tersedia dengan meminimalkan dampak lingkungan, sementara Transisi Agroekologi mendorong restrukturisasi fundamental sistem pertanian berdasarkan prinsip-prinsip ekologi yang terintegrasi dengan dimensi sosial dan politik (European Commission, 2022). Kedua pendekatan tersebut sejatinya memiliki area komplementaritas yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

Adoyo, B. A., et al. (2025). Agroecology for sustainable development: cross-country evidence. Frontiers in Sustainable Food Systems.

Ajibade, S., Simon, B., Gulyas, M., & Balint, C. (2023). Sustainable intensification of agriculture as a tool to promote food security: A bibliometric analysis. Frontiers in Sustainable Food Systems, 7, 1101528. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1101528

Anderson, C. R., Bruil, J., Chappell, M. J., Kiss, C., & Pimbert, M. P. (2021). From transition to domains of transformation: Getting to sustainable and just food systems through agroecology. Sustainability, 13(11), 5902. https://doi.org/10.3390/su13115902

Bansal, S., Chakraborty, P., & Kumar, S. (2022). Crop-livestock integration enhanced soil aggregate-associated carbon and nitrogen, and phospholipid fatty acid. Scientific Reports, 12, 2781. https://doi.org/10.1038/s41598-022-06560-6

Béné, C. (2022). Why the great food transformation may not happen—A deep dive into our food systems' political economy, controversies and politics of evidence. World Development, 154, 105881. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.105881

European Commission. (2022). Agroecological transformation for sustainable food systems. Knowledge for Policy – European Commission. https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/agroecological-transformation-sustainable-food-systems_en

FAO. (2021). The State of Food Security and Nutrition in the World 2021: Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO. (2022). The State of Food Security and Nutrition in the World 2022: Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, Rome.

FAO. (2025). Transforming food and agriculture through a systems approach. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. https://doi.org/10.4060/cd6071en

Frontiers in Agronomy. (2025). Sustainable intensification strategies: Balancing productivity, quality, and profitability in agri-food systems with resource optimization. Frontiers in Agronomy, 7, 1611739. https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1611739

Frontiers in Sustainable Food Systems. (2021). Agroecological transitions: A systematic review of research approaches and prospects for participatory action methods. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5, 709401. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.709401

Frontiers in Sustainable Food Systems. (2024). Agroecological approaches to sustainable development. Frontiers in Sustainable Food Systems, 8, 1405409. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1405409

Frontiers in Sustainable Food Systems. (2024). Navigating the politics and processes of food systems transformation: Guidance from a holistic framework. Frontiers in Sustainable Food Systems, 8, 1399024. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1399024

Geels, F. W., & Schot, J. (2021). How food systems change (or not): Governance implications for system transformation processes. Food Security, 13(4), 875-891. https://doi.org/10.1007/s12571-021-01178-4

González-Abraham, C., Eakin, H., & Sweeney, S. (2023). From transformation ambition to systemic change: Learning from MasAgro's approach to agricultural innovation in Mexico. Global Food Security, 38, 100701.

Gudadhe, N. N., Nayak, D., & Ramkrushna, G. I. (2024). Agroecological approaches for sustainable intensification. In Agroecology and Sustainable Food Systems. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7517-0_15

Huss, C. P., Holmes, K. D., & Blubaugh, C. K. (2022). Benefits and risks of intercropping for crop resilience and pest management. Journal of Economic Entomology, 115(5), 1553-1570. https://doi.org/10.1093/jee/toac045

IPES-Food. (2023). Breaking the cycle: How food systems can be transformed through interdisciplinary policy solutions. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems, Brussels.

Kiloes, A. M., Komalawati, K., Andri, K. B., & Sayaka, B. (2024). Systems thinking in sustainable agriculture development: A case study of garlic production in Indonesia. Frontiers in Sustainable Food Systems, 8, 1349024. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1349024

Lampkin, N. H. (2022). The role of agroecology in sustainable intensification. FAO/Organic Research Centre Report. https://www.fao.org/agroecology/database/detail/en/c/1148466/

Lucas, V., Therville, C., & Bottazzi, P. (2025). A critical political economy approach to agroecological transitions: A social multi-criteria evaluation of agricultural policies in Senegal. Elementa: Science of the Anthropocene, 13(1), 00019. https://doi.org/10.1525/elementa.2024.00019

Madsen, S., et al. (2025). Agroecology supports sustainable development in Africa. Agronomy for Sustainable Development.

Mouratiadou, I., et al. (2024). The socio-economic performance of agroecology: A review. Agronomy for Sustainable Development.

Nature Research. (2025). Sustainable intensification of agriculture. npj Sustainable Agriculture.

Singh, S., Dass, A., Bhattacharyya, R., & Kumar, A. (2024). Precision water management and seed treatment technologies in System of Wheat Intensification (SWI): A review. Agronomy Journal, 116(2), 712-726.

Surendran, U., Nagakumar, K. C. V., & Samuel, M. P. (2024). Remote sensing in precision agriculture. In Digital Agriculture (pp. 201-223). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43548-5_7

Terán-Samaniego, K., et al. (2025). Agroecology and Sustainable Agriculture: Conceptual Challenges and Opportunities. Sustainability.

Tripathi, R., Kumar, A., Guru, P., Debnath, M., Mohapatra, S. D., Mohanty, S., Khanam, R., Shahid, M., & Nayak, A. K. (2021). Precision farming technologies for water and nutrient management in rice: Challenges and opportunities. Oryza, 58, 126-142.

Van den Berg, H., & Jiggins, J. (2022). Investing in farmers: The impacts of farmer field schools in relation to integrated pest management. World Development, 155, 105898. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.105898

Wesseler, J. (2025). Agroecological Practices for Climate-Resilient Agriculture. EJACC.

Yadav, D., Singh, D., Subhash, B., Madegowda, M., Singh, D. V., & Mandal, D. (2023). Intensified cropping reduces soil erosion and improves rainfall partitioning and soil properties in the marginal land of the Indian Himalayas. International Soil and Water Conservation Research. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.10.002

BAB VII

INDIKATOR PRODUKTIVITAS DAN EFISIENSI SUMBER DAYA

A. PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan salah satu sektor strategis dalam pembangunan ekonomi, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia (Fuadi & Istiqomah, 2025). Peran sektor pertanian sebagai penyedia pangan, sebagai sumber pendapatan masyarakat, penyerap tenaga kerja, dan penopang stabilitas ekonomi nasional. Peningkatan produktivitas dan efisiensi sumber daya menjadi isu utama yang harus diperhatikan dalam sistem pertanian modern (Novitasari & Andriyani, 2025). Produktivitas pertanian sering dijadikan indikator utama dalam menilai keberhasilan pembangunan pertanian karena berkaitan langsung dengan output yang dihasilkan dari penggunaan input tertentu (Fuadi & Istiqomah, 2025).

Produktivitas dan efisiensi sumber daya dalam pertanian tidak dapat dipisahkan dari penggunaan faktor produksi seperti lahan, tenaga kerja, modal, dan teknologi. Efisiensi menunjukkan input yang digunakan dapat menghasilkan output secara optimal tanpa pemborosan (Apriliyani & Nasution, 2022). Penelitian menunjukkan bahwa efisiensi teknis, alokatif, dan ekonomi merupakan indikator penting dalam mengevaluasi kinerja usaha tani. Rendahnya efisiensi dapat mengindikasikan adanya kesalahan dalam alokasi sumber daya atau penggunaan teknologi yang belum optimal (Apriliyani & Nasution, 2022).

Indikator produktivitas berhubungan erat dengan keberlanjutan sistem pertanian. Pendekatan sistem pertanian terpadu (*Integrated Farming System*) dalam beberapa tahun terakhir telah terbukti mampu meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi penggunaan input kimia. Sistem pertanian terpadu mengintegrasikan berbagai komponen seperti tanaman, ternak, dan perikanan sehingga terjadi efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya. Pendekatan tersebut mampu meningkatkan nilai tambah ekonomi bagi petani (Usni, 2024).

DAFTAR PUSTAKA

Adi, B. K., Joko, T., & Setiani, O. (2022). Life cycle assessment: Is it beneficial for environmental sustainability? *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*.

Apriliyani, K., & Nasution, M. P. (2022). Efisiensi penggunaan faktor-faktor produksi pada usaha tani kelapa sawit rakyat. *Jurnal Agriuma*, 4(1), 31–39.

Apriliyani, K., & Nasution, M. P. (2022). Efisiensi penggunaan faktor-faktor produksi pada usaha tani kelapa sawit rakyat. *Jurnal Agriuma*, 4(1), 31–39.

Athirafitri, N., Indrasti, N. S., & Ismayana, A. (2021). Analisis dampak pengolahan hasil perikanan menggunakan metode life cycle assessment (LCA). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*.

Ayu, C., Wuryantoro, W., & Sari, N. M. W. (2024). Kinerja ekonomi usaha tani tanaman pangan dan kontribusinya pada kesejahteraan petani. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 29(4), 633–641.

Ayu, C., Wuryantoro, W., & Sari, N. M. W. (2024). Kinerja ekonomi usaha tani tanaman pangan dan kontribusinya pada kesejahteraan petani. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 29(4), 633–641.

Emor, Z. J. T., Engka, D. S. M., & Walewangko, E. N. (2025). Analisis usaha tani tomat dan kaitannya dengan perencanaan pembangunan. *Jurnal Berkala Ilmiah Efisiensi*.

Flaid, J. P. C., Ndoen, W. M., Faah, Y. S., & de Rozari, P. E. (2024). Analisis pengelolaan keuangan dan keberlanjutan usaha tani. *Glory Jurnal Ekonomi dan Ilmu Sosial*.

Fuadi, R. F., & Istiqomah. (2025). Produktivitas padi sebagai indikator modernisasi pertanian dan kaitannya dengan ketahanan pangan. *Jurnal Agrica*, 18(2).

Fuadi, R. F., & Istiqomah. (2025). Produktivitas padi sebagai indikator modernisasi pertanian dan kaitannya dengan ketahanan pangan. *Jurnal Agrica*, 18(2).

Haryanto, A. A. S., Atmika, H. D., Aurelius, B. A., Rustadi, N. P. P., & Nurhayati. (2025). Life cycle assessment aplikasi pupuk dalam sistem pertanian Indonesia: Tinjauan naratif. *Journal of Environmental Economics and Sustainability*.

Kartika, Y. P., Kuswanto, & Arief, H. (2025). Potensi pendapatan usaha tani karet dalam pembiayaan pendidikan tinggi. *Jurnal PROFIT*.

Maulah, S. I., Sukidin, & Hartanto, W. (2023). Analisis kelayakan finansial usaha tani padi. *Jurnal Ekonomi dan Pendidikan*.

Nainggolan, S., Fitri, Y., & Malik, A. (2021). Model fungsi produktivitas dan risiko produksi usaha tani padi sawah. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 5(2), 243–253.
Nainggolan, S., Fitri, Y., & Malik, A. (2021). Model fungsi produktivitas dan risiko produksi usaha tani padi sawah. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 5(2), 243–253.
Nandar, R. H., Ismayana, A., & Yani, M. (2025). Environmental assessment study based on life cycle assessment. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*.

Novitasari, L., & Andriyani, N. (2025). Analisis faktor produksi dan kualitas lingkungan terhadap pertanian berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 9(3).
Novitasari, L., & Andriyani, N. (2025). Analisis faktor produksi dan kualitas lingkungan terhadap pertanian berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 9(3).
Nuraini, N., & Rayyani, W. O. (2025). Analisis pencatatan keuangan usaha tani kelapa sawit oleh petani swadaya. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*.

Saragi, C. P. H., & Lase, E. M. (2025). Analisis efisiensi dan pendapatan usaha tani padi sawah. *Jurnal Agriust*.

ScienceDirect. (2025). Life cycle assessment of agricultural systems toward circularity.

Usni, M. (2024). Integrated farming system sebagai daya saing dan keberlanjutan pertanian di Indonesia. *Fruitset Sains: Jurnal Pertanian Agroteknologi*.
Usni, M. (2024). Integrated farming system sebagai daya saing dan keberlanjutan pertanian di Indonesia. *Fruitset Sains: Jurnal Pertanian Agroteknologi*.
Wijaya, I. G. N. N. K., & Arka, S. (2023). Analisis efisiensi penggunaan input produksi usaha tani padi. *E-Jurnal Ekonomi Pembangunan*.

Yuhendra, Y., Syaukat, Y., Hartoyo, S., & Kusnadi, N. (2021). Analisis keberlanjutan sistem usaha tani integrasi. *Jurnal Agro Ekonomi*.

Zhang, X., et al. (2022). Life cycle assessment on agricultural production: Methodology and challenges. *PMC*.

BAB VIII

SUSTAINABILITY ASSESSMENT (SA) TOOLS

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang dan Urgensi Penilaian Keberlanjutan

Sistem pertanian global tengah menghadapi tekanan yang belum pernah terjadi sebelumnya. Populasi dunia yang diproyeksikan mencapai 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050 membutuhkan peningkatan produksi pangan secara dramatis, sementara sumber daya alam yang tersedia semakin terbatas dan mengalami degradasi yang massif. SA atau penilaian keberlanjutan menjadi instrumen kritis yang memungkinkan para pemangku kepentingan untuk mengukur performa sistem pertanian secara menyeluruh dan berbasis data (FAO, 2022).

Pertanian bertanggung jawab atas sekitar 23% emisi gas rumah kaca global, menggunakan 70% konsumsi air tawar dunia, dan mencakup 37,6% permukaan daratan bumi. Angka-angka ini menunjukkan bahwa keberlanjutan pertanian bukan hanya isu produktivitas pangan, melainkan juga merupakan isu sentral dalam agenda perubahan iklim, konservasi sumber daya, dan keadilan sosial global (IPCC, 2022). Sistem pertanian yang tidak berkelanjutan tidak hanya mengancam ketahanan pangan generasi mendatang, tetapi juga menciptakan krisis ekologis yang dapat memperburuk kondisi jutaan petani kecil di negara berkembang.

Binder *et al.,* (2020) mengungkapkan bahwa keberlanjutan pertanian kini dipahami sebagai kemampuan sistem pertanian untuk mempertahankan dan meningkatkan produktivitas, profitabilitas, serta vitalitas komunitas, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem dalam jangka panjang. Definisi komprehensif ini mengandung implikasi metodologis yang sangat penting: penilaian keberlanjutan tidak dapat dilakukan secara parsial, melainkan harus mengintegrasikan berbagai dimensi seperti ekologi, ekonomi, dan sosial-budaya secara simultan dan seimbang.

DAFTAR PUSTAKA

Abubakar, I. R., Maniruzzaman, K. M., Dano, U. L., AlShihri, F. S., AlShammari, M. S., Ahmed, S. M. S., Al-Gehlani, W. A. G., & Alrawaf, T. I. (2022). Environmental Sustainability Challenges and Opportunities from the Perspective of Agricultural Land-Use Planning. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15964. https://doi.org/10.3390/ijerph192315964

Aguilar-Stoen, M., Eakin, H., & Sendzimir, J. (2021). *Sustainability transitions in coffee value chains: Actors, networks and institutions*. World Development, 141, 105380.

Arifin, B., Syaukat, Y., & Hartono, D. (2022). *Gender dynamics in smallholder rice farming in West Java, Indonesia*. Agricultural Systems, 197, 103347.

Balitbangtan. (2022). Indeks Pembangunan Pertanian Berkelanjutan (IPPB): Metodologi dan Hasil Pengukuran Nasional 2022. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Bappenas. (2022). Evaluasi Paruh Waktu RPJMN 2020-2024: Capaian Pembangunan Pertanian Berkelanjutan. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional Republik Indonesia.

Berbel, J., Martin-Ortega, J., & Mesa, P. (2022). *Participatory vs. top-down sustainability assessment in agriculture: A comparison of outcomes and implementation rates*. Ecological Indicators, 136, 108668.

Binder, C. R., Feola, G., & Steinberger, J. K. (2020). Considering the normative, systemic and procedural dimensions in indicator-based sustainability assessments in agriculture. *Environmental Impact Assessment Review*, 40(1), 1-9.

Byer, P. H., Yeomans, J. S., & Doelle, M. (2021). *Strategic Environmental Assessment and agricultural policy integration: A systematic review*. Environmental Impact Assessment Review, 91, 106654.

Caporali, F., Campiglia, E., & Mancinelli, R. (2023). History and evolution of sustainability assessment in agri-food systems: From single indicators to integrated frameworks. *Sustainability*, 15(3), 2104. https://doi.org/10.3390/su15032104

Chabi-Olaye, A., Nolte, C., Schulthess, F., & Borgemeister, C. (2022). Long-term economic analysis of sustainable agriculture: A framework and evidence from smallholders in sub-Saharan Africa. *Agricultural Economics*, 53(4), 631-645.

Chouchane, H., Krol, M. S., & Hoekstra, A. Y. (2021). Water footprint of Indonesia's agricultural exports: Environmental benchmarks and impact indicators. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125677.

Cinelli, M., Kadziński, M., Gonzalez, M., & Słowiński, R. (2022). *How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy*. Omega, 96, 102261.

Douxchamps, S., Van Wijk, M. T., Silvestri, S., Moussa, A. S., Quiros, C., Ndour, N. Y. B., & Herrero, M. (2020). Linking agricultural adaptation strategies, food security and vulnerability: evidence from rural Niger. *Regional Environmental Change*, 16(5), 1305-1317.

Drechsler, M., & Wätzold, F. (2020). *The cost-effectiveness of agri-environment schemes with multiple fixed costs in the context of biodiversity conservation*. Environmental & Resource Economics, 75(4), 613-634.

FAO. (2022). *SAFA Guidelines Version 3.0: Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems*. Food and Agriculture Organization.

FAO. (2022). *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging Automation in Agriculture for Transformation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gartner, A., Wood, S., & Katic, P. (2022). *Digital agriculture for smallholders: Pathways to reduce digital inequality*. World Development, 156, 105890.

Geneletti, D., Cortinovis, C., Zardo, L., & Esmail, B. A. (2021). *Planning for Ecosystem Services in Cities and Agricultural Landscapes*. Springer International Publishing.

Gibson, R. B. (2022). Sustainability assessment: Basic components of a practical approach. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(3), 171-182.

Goedde, L., Ooko-Ombaka, A., & Pais, G. (2021). *Winning in Africa's agricultural market*. McKinsey & Company Global Food & Agriculture Practice.

Gómez-Limón, J. A., & Sanchez-Fernandez, G. (2022). *Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators*. Ecological Economics, 74, 104-119.

Govindan, K., & Jepsen, M. B. (2023). ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 1-29.

Greco, S., Figueira, J., & Ehrgott, M. (2021). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer New York.

Grewer, U., Bockel, L., Montagnini, F., & Bernoux, M. (2022). *Greenhouse Gas Mitigation in Smallholder Agriculture: Guidelines for IPCC Tier 2 Assessment in Tropical Countries*. FAO & CCAFS Technical Report.

Heckrath, G., Blicher-Mathiesen, G., Kronvang, B., Ovesen, N. B., & Hoffmann, C. C. (2023). *Integrated SWAT++-MCDA approach for predicting agricultural management impacts on water quality*. Science of The Total Environment, 856, 159032.

Hendriadi, A., Sulaeman, Y., Sitorus, S. R. P., & Djaenudin, D. (2022). Multi-criteria analysis of sustainable agricultural system in Central Java: A farmer perspective. Indonesian Journal of Agricultural Science, 23(2), 75-88.

Huang, X., Hu, Z., & Zhang, R. (2023). *Sensitivity analysis of MCDA weights in sustainability assessment of crop production systems*. Agricultural Systems, 206, 103621.

Ighalo, J. O., Adeniyi, A. G., & Adeniran, J. A. (2023). *A systematic review of the application of TOPSIS in sustainable agricultural systems evaluation*. Heliyon, 9(3), e13983.

IPCC. (2022). *Climate Change and Land: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Kadziński, M., Cinelli, M., & Greco, S. (2022). Evolutionary MCDA: A framework for adaptive multi-criteria sustainability assessment. *European Journal of Operational Research*, 298(1), 1-20.

Kamali, F. P., van Middelaar, C. E., Koops, A. J., & de Boer, I. J. M. (2022). Application of AHP for sustainability assessment of different farming systems. *Journal of Cleaner Production*, 208, 431-439.

Kementan RI. (2021). *Pedoman Pertanian Cerdas Iklim (Climate-Smart Agriculture) Indonesia*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Kementan RI. (2022). *Strategi Penguatan Kapasitas Penyuluhan Pertanian Berkelanjutan 2022-2024*. Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian.

Krishna, V., Maertens, M., & Qaim, M. (2021). Farmer and value chain impacts of sustainability standards in developing countries: Review and conceptual framework. *Agricultural Economics*, 48(S1), 17-34.

Kumar, R., Bilga, P. S., Singh, S., & Singh, S. (2024). Diversity of criteria and methods in sustainable manufacturing: A review and future research directions. *Sustainable Production and Consumption*, 32, 1-17.

Lebacq, T., Baret, P. V., & Stilmant, D. (2022). Sustainability indicators for livestock farming: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(2), 311-341.

Macharis, C., & Bernardini, A. (2020). Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, 37, 177-186.

Mahmoodi, M., Khodaei, H., & Salari, T. E. (2022). *Water footprint integrated with multi-criteria analysis for rice cropping pattern optimization in West Java, Indonesia*. Agricultural Water Management, 261, 107380.

Malapit, H., Quisumbing, A., Meinzen-Dick, R., Seymour, G., Martinez, E. M., Heckert, J., & Huyer, S. (2022). *Development of the project-level Women's Empowerment in Agriculture Index (pro-WEAI)*. World Development, 122, 61-79.

Mango, N., Makate, C., Tamene, L., Mponela, P., & Ndengu, G. (2021). Awareness and adoption of land, soil, water, and nutrient management practices in a smallholder farming system of the Chinyanja Triangle, Southern Africa. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(3), 196-207.

Marchand, F., Debruyne, L., Triste, L., Gerrard, C., Padel, S., & Lauwers, L. (2021). Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. *Ecology and Society*, 19(3), 46.

Morgan, R. K. (2021). Environmental impact assessment: The state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1), 5-14.

Mulyaqin, T., Haryati, Y., & Astri, D. (2022). Local context adaptation of sustainability assessment tools for smallholder rice farming in Indonesia. Asian *Journal of Agriculture and Rural Development*, 12(1), 37-46.

Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., Castellani, V., & Sala, S. (2021). Environmental impacts of food consumption in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 140, 753-765.

Nugroho, Y., Hasibuan, A., & Situmorang, R. (2023). *Integrated sustainability assessment for rice-agroforestry transition in Central Kalimantan: A longitudinal study*. Agricultural Systems, 211, 103745.

Ostrom, E. (2021). Governing the Commons: *The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge University Press*. [Reprint of classic with new foreword]

Pascual, U., Balvanera, P., Anderson, C. B., & Seddon, N. (2023). *Diverse values of nature for transformative change*. Science, 381(6661), eadf9800.

Perez-Ortiz, M., Fernandez-Gutierrez, J. P., Gutierrez, P. A., Caballero-Morales, S. O., & Salcedo-Sanz, S. (2023). Precision agriculture: A remote sensing perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(2), 57.

Pinstrup-Andersen, P. (2022). Food security: Definition and measurement. *Food Security*, 1(1), 5-7.

Pope, J., Bond, A., Hugé, J., & Morrison-Saunders, A. (2023). *Reconceptualising sustainability assessment*. Environmental Impact Assessment Review, 62, 205-215.

Pusdatin Kementan RI. (2022). *Statistik Ketahanan Pangan Rumah Tangga Petani Indonesia 2022*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian.

Rachman, B., Adhi, A. K., & Wahyunto. (2022). Towards a national sustainability monitoring system for Indonesian agriculture: Framework and indicators. *Journal of Indonesian Tropical Agriculture*, 47(2), 89-104.

Raimondo, M., Nazzaro, C., Nifo Sarrapochiello, G., & Marotta, G. (2022). Understanding sustainability assessment in food and agriculture: A literature review. *Sustainability*, 14(4), 2112.

Reardon, T., Minten, B., Vos, R., & Swinnen, J. (2021). *COVID-19's impacts on incomes and food security of farmers and rural poor in low and middle income countries*. IFPRI Food Policy Research Report.

Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., & Stringer, L. C. (2022). Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1933-1949.

Romero-Perdomo, F., Camelo-Rusinque, M., Bonilla-Buitrago, R. R., & Estrada-Bonilla, G. A. (2021). Life cycle assessment of tropical smallholder farms: Environmental hotspots and implications for policy design. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125843.

Sala, S., Amadei, A. M., Pirinen, A., & Daly, H. (2021). The evolution of sustainability assessment for products: A systematic review. *Journal of Industrial Ecology*, 25(5), 1040-1064.

Sánchez-Zapata, E., Aguilar, J., & García, A. (2023). *MCDA-GIS integrated approach for sustainable agricultural land suitability mapping in semi-arid regions*. Computers and Electronics in Agriculture, 207, 107714.

Schader, C., Grenz, J., Meier, M. S., & Stolze, M. (2021). Scope and precision of sustainability assessment approaches to food systems. *Ecology and Society*, 19(3), 42.

Setyanto, P., Pramono, A., Adriany, T. A., Susilawati, H. L., Tokida, T., Padre, A. T., & Minamikawa, K. (2021). Alternate wetting and drying reduces methane emission from a rice paddy in Central Java, Indonesia without yield loss. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64(1), 23-30.

Sitorus, S. R. P., Mulyani, A., Sulaeman, Y., & Kharisma, A. (2022). *National-scale agricultural sustainability mapping using Sentinel-2 imagery: Methodology and application in Indonesia*. Remote Sensing, 14(10), 2457.

Smyth, E., & Ward, J. (2022). *Principles for effective sustainability dashboards in agricultural decision support*. Computers and Electronics in Agriculture, 197, 106912.

Stirling, A. (2021). *Keep it complex*. Nature, 468(7327), 1029-1031.

Suwarno, J., Agung, I. G. N., & Windia, W. (2021). Adoption of sustainable agricultural practices among smallholders in Indonesia: Barriers and opportunities. *Journal of Sustainable Agriculture*, 35(3), 302-325.

TEEB for Agriculture & Food. (2021). *Measuring What Matters in Agriculture and Food Systems: A Synthesis of the Results and Recommendations of TEEB for Agriculture and Food's Scientific and Economic Foundations*. UN Environment Programme.

Tiede, Y., Segelbacher, G., Storch, I., & Brose, U. (2022). *Functional diversity of soil arthropods as early indicators of agricultural management change*. Ecological Indicators, 135, 108543.

Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., & Whitbread, A. (2021). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151(1), 53-59.

Turskis, Z., Lazauskas, M., & Zavadskas, E. K. (2021). Fuzzy multiple criteria assessment of construction site alternatives for non-hazardous waste incineration plant in Vilnius city applying ARAS-F and AHP methods. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 20(2), 110-120.

Vilain, L. (2021). *La méthode IDEA, 4th Edition: Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles*. Educagri Editions.

Vogt, W., Bindi, M., Calatayud, V., Couture, R., Douglas, M., & Hansen, G. (2021). *SAFA in Practice: Case Studies from Europe and Asia*. FAO Food and Agriculture Organization.

Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2020). Agroecological practices for sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 1-20.

Williamson, O. E. (2021). The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead. *Journal of Economic Literature*, 38(3), 595-613.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2023). *Big data in smart farming: A review*. Agricultural Systems, 153, 69-80.

Woo, H. S., Choi, J. Y., & Eem, S. H. (2021). Fuzzy AHP-TOPSIS approach for sustainability assessment of organic rice farming in Korea. *Sustainability*, 13(2), 637.

Zhang, Y., Chen, X., Song, W., & Zhang, G. (2023). *Integrated machine learning and MCDA for real-time agricultural sustainability assessment*. Computers and Electronics in Agriculture, 204, 107587.

Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2021). *Multiple criteria decision systems in financial engineering and financial modeling*. In Multiple Criteria Decision Analysis (pp. 1231-1261). Springer.

BAB 9

ANALISIS PWP, PRA, PPPB, DAN KKP

A. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor fundamental dalam perekonomian Indonesia, terutama bagi masyarakat perdesaan yang sebagian besar menggantungkan kehidupannya pada kegiatan agraris. Sektor pertanian berfungsi sebagai penyedia bahan pangan, penyerap tenaga kerja, sumber devisa, dan penopang ketahanan pangan nasional. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang potensi wilayah pertanian menjadi prasyarat mutlak dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan pertanian yang efektif dan berkelanjutan.

Analisis potensi wilayah pertanian (PWP) adalah proses sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur, dan mengevaluasi sumber daya alam, sumber daya manusia, infrastruktur, serta kelembagaan yang ada di suatu wilayah guna mendukung kegiatan pertanian. Analisis ini mencakup kajian terhadap kesesuaian lahan, ketersediaan air, kondisi iklim, topografi, kesuburan tanah, serta akses terhadap pasar dan teknologi. Analisis yang komprehensif membuat para perencana dan pengambil kebijakan dapat merumuskan strategi pembangunan pertanian yang tepat sasaran dan berbasis potensi lokal (Saragih et al., 2022; Wahyunto et al., 2023).

Tantangan pembangunan pertanian di Indonesia semakin kompleks seiring dengan dinamika perubahan iklim global, pertumbuhan populasi, alih fungsi lahan pertanian, serta degradasi sumber daya alam. Data Badan Pusat Statistik (2023) menunjukkan bahwa luas lahan sawah di Indonesia mengalami penyusutan rata-rata sekitar 100.000 hektare per tahun akibat konversi lahan untuk keperluan non-pertanian. Kondisi ini menuntut pendekatan pembangunan pertanian yang lebih inovatif, inklusif, dan berorientasi jangka panjang. Tanpa penanganan sistematis, ancaman terhadap keberlanjutan produksi pangan nasional akan semakin nyata dalam dua hingga tiga dekade mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology and the reconstruction of a post-COVID-19 and post-climate crisis world. Journal of Peasant Studies, 47(5), 881–898. https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1782891

Ariani, M., Hermanto, & Pasaribu, S. M. (2022). Diversifikasi pangan lokal berbasis kearifan lokal dalam mendukung ketahanan pangan. Jurnal Analisis Kebijakan Pertanian, 20(1), 15–32. https://doi.org/10.21082/akp.v20n1.2022.15-32

Arief, R. W., Kusumawardani, N., & Hermawan, A. (2022). Kedaulatan pangan Indonesia: Antara konsep dan implementasi kebijakan. Jurnal Agraris, 8(2), 112–128. https://doi.org/10.18196/agraris.v8i2.13245

Badan Ketahanan Pangan (BKP). (2021). Situasi pangan dan gizi 2021. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Badan Ketahanan Pangan (BKP). (2022). Peta ketahanan dan kerentanan pangan Indonesia 2022. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Badan Ketahanan Pangan (BKP). (2023). Laporan kinerja badan ketahanan pangan tahun 2022. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). Survei pertanian: Struktur ongkos usaha tani padi 2023. BPS Indonesia.

Chambers, R. (2020). Participatory rural appraisal (PRA): Past, present and future. Forests, Trees and Livelihoods, 29(4), 236–255. https://doi.org/10.1080/14728028.2020.1758812

Chayanov, A. V., & Netting, R. M. (2021). Smallholder farming revisited: New perspectives on peasant agriculture and food systems. World Development, 145, 105523. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105523

DAFTAR PUSTAKA

Dawson, N., Bhogal, A., Bharucha, Z. P., & Pretty, J. (2022). Sustainable intensification: 50 years of debate. Nature Food, 3(8), 581–588. https://doi.org/10.1038/s43016-022-00572-1

Dewi, R. K., & Santoso, P. (2023). Analisis ekonomi pertanian berkelanjutan di Pulau Jawa: Pendekatan nilai tambah komoditas hortikultura. Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis (JEPA), 7(1), 45–62. https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2023.007.01.5

El Bilali, H., & Allahyari, M. S. (2020). Transition towards sustainability in agriculture and food systems: Role of information and communication technologies. Information Processing in Agriculture, 7(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.005

Fakih, M. (2021). Runtuhnya teori pembangunan dan globalisasi (Edisi revisi). Insist Press dan Pustaka Pelajar.

Fanzo, J., & Davis, C. (2021). Can diets be healthy, sustainable, and equitable? Current Obesity Reports, 10(1), 1–9. https://doi.org/10.1007/s13679-020-00408-6

FAO. (2020). The state of food and agriculture 2020: Overcoming agricultural water challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2021). Transforming food systems for affordable healthy diets. The State of Food and Agriculture 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2022). The state of food and agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for the transformation of agri-food systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Hadi, S., Pratiwi, N. M., & Wahyudi, A. (2023). Implementasi participatory rural appraisal dalam perencanaan program pengembangan pertanian organik di Jawa Tengah. Jurnal Penyuluhan, 19(2), 201–218. https://doi.org/10.25015/penyuluhan.v19i2.43157

Haryanto, B., & Sembiring, H. (2023). Gerakan sosial dan kedaulatan pangan: Studi kasus organisasi petani Indonesia. Jurnal Sosiologi Pedesaan, 11(1), 78–94. https://doi.org/10.22500/sodality.v11i1.44210

Ife, J., & Tesoriero, F. (2022). Community development: Community-based alternatives in an age of globalisation (5th ed.). Pearson Education Australia.

IPES-Food. (2021). A long food movement: Transforming food systems by 2045. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems.

Irawan, B., Wahyuni, S., & Friyatno, S. (2023). Dampak perubahan iklim terhadap produksi dan ketahanan pangan Indonesia. Analisis Kebijakan Pertanian, 21(1), 55–74. https://doi.org/10.21082/akp.v21n1.2023.55-74

ISAAA. (2022). Global status of commercialized biotech/GM crops in 2022: Biotech crops drive socioeconomic development and sustainable environment in the new frontier. ISAAA Brief No. 55. ISAAA.

Kementan RI. (2022). Rencana strategis Kementerian Pertanian 2020–2024 (Revisi). Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Kementan RI. (2023). Buku saku statistik pertanian 2023. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Kurniawan, A., Suwarto, & Purwanto, S. (2023). Efektivitas integrasi PRA dan sekolah lapangan petani dalam peningkatan kapasitas petani padi organik. Agrisocionomics: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian, 7(1), 33–48. https://doi.org/10.14710/agrisocionomics.v7i1.15432

La Via Campesina. (2021). Food sovereignty: A right for all. La Via Campesina Position Paper. https://viacampesina.org/en/food-sovereignty/

Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., ... & Torquebiau, E. F. (2020). Climate-smart agriculture for food security. Nature Climate Change, 10(11), 1063–1072. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00929-x

Luedeling, E., Shepherd, K., Gerber, N., & Rosenstock, T. S. (2020). Data-driven decision making for agricultural development in Africa. Agricultural Systems, 183, 102869. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102869

Mosse, D. (2021). Adventures in Aidland: The anthropology of professionals in international development. Berghahn Books.

Mulyaqin, T., Astuti, Y., & Heryani, N. (2022). Climate-smart agriculture di lahan sawah tadah hujan: Strategi adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Jurnal Tanah dan Iklim, 46(1), 27–42. https://doi.org/10.21082/jti.v46n1.2022.27-42

Mulyawan, R., Purnama, I. S., & Resnawati, H. (2023). Partisipasi masyarakat desa dalam perencanaan pembangunan pertanian era otonomi daerah. Jurnal Administrasi Publik, 14(1), 88–105. https://doi.org/10.31289/jap.v14i1.7865

Mustapha, S., Hashim, N., Shaari, M. S., & Fatin, N. (2021). Sustainable food systems: Regional impacts of participatory approaches. Sustainability, 13(4), 2105. https://doi.org/10.3390/su13042105

Nugraha, Y. S., Nugroho, B., & Kartodihardjo, H. (2022). Keterpaduan perencanaan pertanian lintas sektor di tingkat kabupaten: Pelajaran dari Kabupaten Subang dan Lombok Timur. Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan, 19(2), 167–184. https://doi.org/10.20886/jakk.2022.19.2.167-184

Nugroho, P., & Rahmawati, D. (2022). Pemetaan partisipatif berbasis GIS untuk perencanaan tata guna lahan pertanian di daerah perbatasan: Studi kasus Kabupaten Merauke. Jurnal Planologi, 19(1), 56–73. https://doi.org/10.30659/jpsa.v19i1.18935

Nuraini, C., & Sitorus, S. (2021). Dimensi sosial-budaya dalam pembangunan pertanian berkelanjutan: Refleksi dari komunitas pertanian di Bali dan Lombok. Jurnal Sosiologi Pedesaan, 9(3), 189–206. https://doi.org/10.22500/sodality.v9i3.35220

Nurwadjedi, & Adi, W. S. (2021). Pemantauan konversi lahan pertanian berbasis penginderaan jauh multitemporal di Pulau Jawa. Jurnal Geografi Gea, 21(1), 34–47. https://doi.org/10.17509/gea.v21i1.31257

Pratama, R. A., Wahyuning, C. S., & Palupi, N. S. (2024). Pengembangan digital PRA (e-PRA) untuk perencanaan program ketahanan pangan desa. Informatika Pertanian, 33(1), 23–38. https://doi.org/10.21082/ip.v33n1.2024.23-38

Purnomo, H., Okarda, B., Dewayani, A. A., & Achdiawan, R. (2022). Pertanian presisi dan teknologi geospasial untuk transformasi pertanian Indonesia. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 41(2), 67–84. https://doi.org/10.21082/jp3.v41n2.2022.67-84

Reardon, T., Tschirley, D., Liverpool-Tasie, L. S. O., Awasthi, A., Fanzo, J., Minten, B., & Popkin, B. M. (2021). The processed food revolution in African food systems and the double burden of malnutrition. Global Food Security, 28, 100466. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100466

Rietbergen-McCracken, J., & Narayan, D. (2020). Participation and social assessment: Tools and techniques. World Bank Publications.

Rosset, P. M., & Altieri, M. A. (2017). Agroecology: Science and politics. Practical Action Publishing. [Edisi cetak ulang 2020]

Rustiadi, E., Saefulhakim, S., & Panuju, D. R. (2021). Perencanaan dan pengembangan wilayah (Edisi 4). Yayasan Pustaka Obor Indonesia.

Saragih, S. E., Siagian, V., & Napitupulu, D. (2022). Analisis potensi sumber daya pertanian berbasis spasial untuk mendukung ketahanan pangan daerah. Jurnal Teknik Pertanian Lampung, 11(2), 112–129. https://doi.org/10.23960/jtep-l.v11i2.112-129

Scoones, I., & Thompson, J. (2021). Farmer first revisited: Innovation for agricultural research and development. Practical Action Publishing.

Sulaiman, V. R., & Hall, A. (2020). Extension, poverty and vulnerability: Inception report of a study for the NEUCHATEL initiative. CRISP.

Susanto, H., Mulyani, A., & Agus, F. (2021). Kalender tanam terpadu: Inovasi adaptasi perubahan iklim untuk pertanian padi di Indonesia. Jurnal Sumber Daya Lahan, 15(1), 1–16. https://doi.org/10.21082/jsdl.v15n1.2021.1-16

Susilowati, S. H. (2022). Regenerasi petani dan alih fungsi lahan pertanian: Ancaman nyata terhadap ketahanan pangan jangka panjang Indonesia. Forum Penelitian Agro Ekonomi, 40(1), 1–22. https://doi.org/10.21082/fae.v40n1.2022.1-22

Wahyunto, W., Erfandi, D., Sulaeman, Y., & Ritung, S. (2023). Pemutakhiran peta kesesuaian lahan pertanian Indonesia berbasis penginderaan jauh dan kecerdasan buatan. Jurnal Sumber Daya Lahan, 17(1), 1–18. https://doi.org/10.21082/jsdl.v17n1.2023.1-18

Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Goncalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. Agronomy for Sustainable Development, 40(4), 40. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z

Wijayanti, R., & Sugiharto. (2023). Kesetaraan gender dalam participatory rural appraisal untuk program pengembangan pertanian: Evaluasi program di Kalimantan Selatan. Jurnal Penyuluhan Pertanian, 18(1), 44–60. https://doi.org/10.25182/jpp.2023.18.1.44-60

Witzke, P., Noleppa, S., & Schwarz, G. (2020). The value of the EU Common Agricultural Policy to mitigate food security risks under climate change. Food Policy, 97, 101940. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101940

Zhu, X., Clements, R., Haggar, J., Quezada, A., & Torres, J. (2020). Technologies and agroforestry: Integrating new approaches into food system transformation. Land, 9(12), 534. https://doi.org/10.3390/land9120534

Zimmerer, K. S., Carney, J. A., & Vanek, S. J. (2020). Sustainable smallholder intensification in global change: Agrodiverse spatial patterns and food security. Current Opinion in Environmental Sustainability, 45, 45–55. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.09.002



Buku ini membahas perkembangan pertanian modern yang memadukan teknologi, data, dan prinsip keberlanjutan untuk meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga kelestarian sumber daya pertanian. Pertanian presisi menjadi pendekatan penting dalam menghadapi berbagai tantangan, seperti perubahan iklim, keterbatasan lahan dan air, kebutuhan pangan yang terus meningkat, serta tuntutan terhadap efisiensi penggunaan input pertanian. Melalui pemanfaatan teknologi digital, sensor, drone, sistem informasi, dan analisis data, pengelolaan pertanian dapat dilakukan secara lebih tepat, efisien, dan terukur.

Pembahasan dalam buku ini tidak hanya berfokus pada aspek teknologi, tetapi juga melihat pertanian dari berbagai dimensi yang saling berkaitan. Pendekatan analisis multidimensional digunakan untuk memahami hubungan antara aspek produktivitas, ekonomi, lingkungan, sosial, dan keberlanjutan dalam pengembangan sektor pertanian. Dengan perspektif tersebut, pembaca diajak memahami bahwa keberhasilan pertanian modern tidak cukup diukur dari peningkatan hasil produksi, tetapi juga dari kemampuan menciptakan efisiensi, meningkatkan kesejahteraan pelaku usaha tani, menjaga kualitas lingkungan, serta memastikan keberlanjutan sumber daya bagi generasi mendatang.

Buku ini dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, akademisi, peneliti, praktisi pertanian, penyuluh, pelaku usaha agribisnis, maupun pembaca umum yang ingin memahami transformasi pertanian di era teknologi. Materi yang disajikan memberikan gambaran mengenai bagaimana inovasi dan pendekatan berbasis data dapat diterapkan untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan pertanian. Pada akhirnya, buku ini diharapkan dapat memperluas wawasan mengenai pentingnya integrasi teknologi, analisis multidimensional, dan prinsip keberlanjutan dalam mewujudkan sistem pertanian yang produktif, adaptif, efisien, dan berdaya saing.

www.penerbitwidina.com
@penerbitwidina
penerbit widina
penerbitwidina@gmail.com
widina store
widina bookstore

Layanan Pembaca & Penerbitan Buku
0815-7000-699

SCANME

Pertanian

ISBN 978-634-317-409-7

9 786343 174097