



## STRATEGI EKONOMI HIJAU UNTUK PERTANIAN: STUDI KOMPARATIF VARIABEL, METODOLOGI, DAN PERANGKAT LUNAK

Hendrik Susanto<sup>1\*</sup>; Lavenia Lauwinata<sup>2</sup>; Simon Ebel Maris Phoek<sup>3</sup>

<sup>1)</sup> *hendrik.susanto@sainttheresa.ac.id, Sekolah Tinggi Ilmi Ekonomi Saint Theresia Merauke*

<sup>2)</sup> *lavenia@sainttheresa.ac.id, Sekolah Tinggi Ilmi Ekonomi Saint Theresia Merauke*

<sup>3)</sup> *simon@sainttheresa.ac.id, Sekolah Tinggi Ilmi Ekonomi Saint Theresia Merauke*

### Abstract

*This research aims to analyze the application of the green economy concept in the development of the agricultural sector through studying the variables used, the country of origin of the study, the software applied, and the research methodology adopted. By conducting a literature review of various international studies, this article provides a comprehensive picture of how green economy principles are integrated into agricultural practices. Variables that are often analyzed include levels of greenhouse gas emissions, water and energy use efficiency, biodiversity, agricultural productivity, and socio-economic impacts on farming communities. This study includes research from various countries with diverse economic, social and ecological backgrounds, such as Brazil, India, China, Germany and Indonesia. Each country has a unique approach that reflects their geography and local policies, providing valuable insights into the application of the green economy in various contexts. The software used in this study includes data analysis tools such as R and STATA, GIS (Geographic Information System) for mapping and spatial analysis, and agricultural simulation tools such as APSIM (Agricultural Production Systems simulator). These tools enable researchers to process complex data and produce accurate predictive models. The research methodologies applied vary, from case studies, quantitative and qualitative analysis, to economic and ecological models. This approach often involves statistical analysis, mathematical modeling, and evaluation of environmental and socioeconomic impacts. This study emphasizes the importance of a holistic and integrated approach in implementing a green economy to achieve sustainable agricultural development. By exploring the diversity of approaches and analytical tools, this research is expected to provide insight for policy makers, researchers and agricultural practitioners in developing greener and more sustainable agricultural strategies.*

**Keywords:** *Agricultural development, Agricultural data analysis, Continuity, Green economy*

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan konsep ekonomi hijau dalam pembangunan sektor pertanian melalui kajian variabel yang digunakan, asal negara studi, perangkat lunak yang diterapkan, serta metodologi penelitian yang diadopsi. Dengan melakukan tinjauan literatur terhadap berbagai studi internasional, artikel ini memberikan gambaran komprehensif mengenai bagaimana prinsip-prinsip ekonomi hijau diintegrasikan dalam praktik pertanian. Variabel yang sering dianalisis meliputi tingkat emisi gas rumah kaca, efisiensi penggunaan air dan energi, biodiversitas, produktivitas pertanian, serta dampak sosial ekonomi terhadap komunitas petani. Studi ini mencakup penelitian dari berbagai negara dengan latar belakang ekonomi, sosial, dan ekologi yang beragam, seperti Brasil, India, Tiongkok, Jerman, dan Indonesia. Setiap negara memiliki pendekatan unik yang mencerminkan kondisi geografis dan kebijakan lokal mereka, sehingga memberikan wawasan berharga mengenai penerapan ekonomi hijau di berbagai konteks. Perangkat lunak yang digunakan dalam studi ini mencakup alat analisis data seperti R dan STATA, GIS (Geographic Information System) untuk pemetaan dan analisis spasial, serta perangkat simulasi pertanian seperti APSIM (Agricultural Production Systems sIMulator). Alat-alat ini memungkinkan peneliti untuk mengolah data kompleks dan menghasilkan model prediktif yang akurat. Metodologi penelitian yang diterapkan beragam, mulai dari studi kasus, analisis kuantitatif dan kualitatif, hingga model ekonomi dan ekologi. Pendekatan ini seringkali melibatkan analisis statistik, pemodelan matematika, serta evaluasi dampak lingkungan dan sosial ekonomi. Studi ini menekankan pentingnya pendekatan holistik dan terintegrasi dalam menerapkan ekonomi hijau untuk mencapai pembangunan pertanian yang berkelanjutan. Dengan mengeksplorasi keanekaragaman pendekatan dan alat analisis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan bagi pembuat kebijakan, peneliti, dan praktisi pertanian dalam mengembangkan strategi pertanian yang lebih hijau dan berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Analisis data pertanian, Ekonomi hijau, Keberlanjutan, Pembangunan pertanian

### PENDAHULUAN

Ekonomi hijau bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara peningkatan kesejahteraan rakyat dan menjaga stabilitas perekonomian nasional. Oleh karena itu, dalam



pembangunan mikro dan makro ekonomi yang dilakukan oleh pemerintah, prinsip-prinsip ekonomi hijau harus diadopsi dalam pelaksanaannya. Hal ini diharapkan dapat mendorong terciptanya pembangunan ekonomi yang lebih selaras dengan kelestarian lingkungan dan memberikan manfaat yang adil bagi seluruh lapisan masyarakat. Konsep ekonomi hijau diperlukan dalam rangka mendukung kesejahteraan dan keadilan bagi pelaku pasar domestik (Adamowicz, 2022), agar mereka diberi kesempatan untuk mengembangkan perekonomian Indonesia secara berkelanjutan. Pembangunan ekonomi hijau (*green economy*) dalam basis pertanian menjadi semakin penting di tengah tantangan global terkait keberlanjutan lingkungan, ketahanan pangan, dan perubahan iklim. Ekonomi hijau merupakan model ekonomi yang berorientasi pada peningkatan kesejahteraan manusia dan kesetaraan sosial, seraya secara signifikan mengurangi risiko lingkungan dan kelangkaan sumber daya alam (Mikhno et al., 2021).

Sektor pertanian memiliki peran kunci dalam transisi menuju ekonomi hijau (Söderholm, 2020). Pertanian adalah salah satu sektor yang paling terdampak oleh perubahan iklim dan kerusakan lingkungan (Malhi et al., 2021), namun juga menjadi sektor yang memiliki potensi besar untuk menjadi bagian solusi. Pengembangan sistem pertanian yang berkelanjutan dapat memberikan manfaat ganda, yaitu meningkatkan produktivitas dan pendapatan petani serta melestarikan lingkungan alam (Antle & Ray, 2020). Pembangunan ekonomi hijau dalam sektor pertanian menjadi semakin penting dalam konteks perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan kebutuhan untuk meningkatkan ketahanan pangan global. Beberapa faktor kunci yang mempengaruhi pembangunan ekonomi hijau dalam basis pertanian antara lain efisiensi sumber daya, konservasi tanah dan air, keanekaragaman hayati, ekonomi sirkular, dan integrasi dengan komunitas lokal.

Efisiensi sumber daya, seperti penggunaan energi, air, dan input pertanian lainnya, dapat memberikan keuntungan ekonomi yang signifikan (Kumar et al., 2020). Peningkatan efisiensi sumber daya dapat menghasilkan manfaat ekonomi hingga 2-5 kali lipat dibandingkan investasi awal. Teknologi seperti irigasi tetes dan precision farming berpotensi meningkatkan efisiensi dalam penggunaan input pertanian (Ahmad & Dar, 2020). Konservasi tanah dan air juga menjadi kunci untuk menjaga produktivitas dan ketahanan pangan jangka panjang. Praktik pertanian konservasi, seperti penanaman tanaman penutup dan olah tanah minimum, dapat mencegah erosi dan meningkatkan kesuburan tanah (Jacobs et al., 2022). Keanekaragaman hayati merupakan fondasi bagi sistem pertanian yang sehat dan produktif. Penggunaan varietas tanaman lokal dan polikultur dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit, serta memelihara ekosistem alami (Snyder et al., 2020). Prinsip ekonomi sirkular juga dapat diterapkan dalam sektor pertanian, di mana limbah organik diolah menjadi pupuk, pakan ternak, atau bahan bakar. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya input dan limbah, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi, lingkungan, dan sosial yang signifikan.

Integrasi dengan komunitas lokal adalah faktor lain yang sangat penting (Tjilen et al., 2024). Keterlibatan masyarakat lokal dalam pembangunan pertanian berkelanjutan dapat meningkatkan adopsi teknologi dan keberlanjutan program (Mapiye et al., 2021). Pengembangan sistem pertanian tradisional yang disesuaikan dengan kondisi dan budaya lokal dapat meningkatkan ketahanan pangan dan pendapatan masyarakat (Patel et al., 2020). Pemahaman yang lebih mendalam tentang dinamika dan interaksi antara faktor-faktor tersebut sangat penting untuk merancang dan menerapkan strategi pembangunan ekonomi hijau yang efektif dan terintegrasi di sektor pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor kunci yang mempengaruhi pembangunan ekonomi hijau dalam basis pertanian, serta implikasinya bagi kebijakan dan praktik di lapangan. Penelitian ini mengadopsi pendekatan yang lebih holistik dalam menganalisis faktor-faktor kunci yang mempengaruhi pembangunan ekonomi hijau dalam basis pertanian. Seringkali, penelitian sebelumnya hanya berfokus pada



satu atau dua aspek, seperti efisiensi sumber daya atau konservasi tanah dan air. Namun, penelitian ini berusaha mengintegrasikan berbagai faktor kunci, termasuk ekonomi sirkular, keanekaragaman hayati, dan integrasi dengan komunitas local (Tjilen et al., 2023), untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif

Pemahaman yang lebih mendalam tentang dinamika dan interaksi antar faktor-faktor tersebut masih diperlukan untuk dapat merancang dan menerapkan strategi pembangunan ekonomi hijau yang efektif dan terintegrasi di sektor pertanian. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi pembangunan ekonomi hijau dalam basis pertanian dan implikasinya bagi kebijakan dan praktik di lapangan. Mengembangkan kerangka konseptual yang lebih komprehensif untuk memahami dinamika dan interaksi antara berbagai faktor yang mempengaruhi pembangunan ekonomi hijau dalam basis pertanian. Secara teoritis, penelitian ini bertujuan untuk memperkaya pemahaman dan menyediakan model yang lebih lengkap tentang kompleksitas dan saling keterkaitan dari faktor-faktor yang terlibat dalam transisi menuju ekonomi hijau di sektor pertanian.

## **KAJIAN PUSTAKA**

Efisiensi sumber daya dalam pertanian hijau melibatkan upaya untuk meningkatkan produktivitas dengan penggunaan input yang lebih sedikit atau dengan cara yang lebih ramah lingkungan (Sarkar et al., 2020). Peningkatan efisiensi sumber daya dapat mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan pertanian dan mendukung keberlanjutan. Sebagai contoh, penggunaan teknologi irigasi cerdas dan pupuk organik dapat mengurangi konsumsi air dan energi serta emisi gas rumah kaca. (Hou et al., 2020) menegaskan bahwa pendekatan sistemik, seperti daur ulang nutrisi dan pengelolaan limbah organik, dapat meningkatkan produktivitas lahan dan mendukung keberlanjutan ekosistem. Efisiensi sumber daya tidak hanya meningkatkan output pertanian, tetapi juga mendukung keberlanjutan dengan meminimalkan penggunaan input yang merusak lingkungan.

Pengelolaan limbah pertanian menjadi elemen kunci dalam strategi ekonomi hijau, karena limbah yang dikelola dengan baik dapat mengurangi polusi tanah dan air serta emisi gas rumah kaca (Obaisi et al., 2022). Pengelolaan limbah yang efektif dapat mengurangi dampak lingkungan dari pertanian. Selain itu, limbah pertanian seperti sisa tanaman dan kotoran ternak memiliki potensi untuk diubah menjadi energi terbarukan melalui proses seperti konversi biomassa, teknologi seperti kompos dan biogas dapat secara signifikan mengurangi volume limbah yang perlu dibuang, sambil menghasilkan energi dan pupuk organik yang berharga. Pengelolaan limbah yang efisien tidak hanya membantu dalam menjaga kualitas lingkungan, tetapi juga memberikan nilai ekonomi tambahan melalui pemanfaatan kembali limbah sebagai sumber daya. Penggunaan biomassa sebagai energi terbarukan telah mendapatkan perhatian besar karena potensinya dalam mengurangi emisi karbon dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Residu tanaman dan limbah ternak dapat diubah menjadi bioenergi yang bersih dan berkelanjutan, yang penting untuk memenuhi kebutuhan energi di pedesaan. Demirbas (2009) menekankan bahwa biomassa adalah sumber energi yang memiliki potensi besar untuk mengurangi jejak karbon dari kegiatan pertanian (Antar et al., 2021). Selain itu bahwa penggunaan biomassa tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan tetapi juga memberikan manfaat ekonomi bagi petani dengan menciptakan sumber pendapatan tambahan. Dengan pemanfaatan biomassa yang optimal, sektor pertanian dapat berkontribusi signifikan terhadap transisi energi hijau.

Pemberdayaan petani lokal dan dukungan kebijakan pertanian berkelanjutan memainkan peran penting dalam penerapan strategi ekonomi hijau (Ali et al., 2021). Pentingnya program pelatihan dan penyuluhan untuk meningkatkan kapasitas petani dalam menerapkan teknik pertanian berkelanjutan. Peningkatan akses petani ke sumber daya, teknologi, dan



informasi adalah kunci untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan. Kebijakan yang mendukung inovasi pertanian dan konservasi sumber daya alam dapat mendorong petani untuk mengadopsi praktik yang lebih ramah lingkungan (Pretty et al., 2010). Kremen et al. (2012) juga menyoroti pentingnya kolaborasi antara pemerintah, petani, dan masyarakat untuk memastikan keberhasilan strategi pertanian berkelanjutan. Dengan dukungan yang tepat, petani dapat berkontribusi pada pertanian hijau yang berkelanjutan dan mendukung ketahanan pangan global.

## METODE

Metodologi penelitian yang diterapkan dalam studi ekonomi hijau di sektor pertanian mencakup berbagai pendekatan untuk mengevaluasi dan memahami penerapan praktik berkelanjutan. Metode-metode ini dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori utama: studi kasus, analisis kuantitatif, analisis kualitatif, serta model ekonomi dan ekologi. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan, serta penerapan yang sesuai dengan tujuan dan konteks penelitian. Studi kasus digunakan untuk melakukan analisis mendalam terhadap penerapan ekonomi hijau dalam praktik pertanian di wilayah tertentu. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi secara rinci faktor-faktor lokal yang mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan implementasi kebijakan dan praktik berkelanjutan. Studi kasus biasanya melibatkan pengumpulan data primer melalui wawancara, survei, dan observasi lapangan, serta analisis data sekunder dari dokumen dan laporan terkait. Pendekatan ini membantu dalam memahami konteks spesifik, interaksi sosial, dan dinamika lokal yang mungkin tidak terlihat dalam analisis skala besar.

Analisis kuantitatif digunakan untuk memberikan gambaran umum tentang tren, pola, dan korelasi antara variabel yang terkait dengan penerapan ekonomi hijau di sektor pertanian. Metode ini melibatkan pengumpulan data numerik dan penggunaan teknik statistik untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat, mengukur perubahan, dan memprediksi dampak kebijakan atau intervensi. Beberapa teknik yang sering digunakan termasuk regresi linier, analisis varians (ANOVA), dan analisis faktor. Data yang digunakan dalam analisis kuantitatif seringkali berasal dari survei, sensus, dan database resmi. Analisis kualitatif fokus pada pemahaman mendalam tentang pengalaman, persepsi, dan pandangan para pemangku kepentingan terkait penerapan ekonomi hijau. Metode ini melibatkan teknik pengumpulan data seperti wawancara mendalam, diskusi kelompok terarah (*focus group discussion*), dan analisis konten dokumen. Analisis kualitatif membantu mengungkap makna dan interpretasi yang diberikan oleh individu terhadap praktik berkelanjutan dan bagaimana mereka menavigasi tantangan dan peluang yang dihadapi. Pendekatan ini berguna untuk mengeksplorasi aspek-aspek yang tidak dapat diukur secara kuantitatif.

Model ekonomi digunakan untuk mengevaluasi dampak ekonomi dari penerapan ekonomi hijau dalam pertanian. Pendekatan ini melibatkan pembangunan model matematika yang merepresentasikan interaksi antara berbagai komponen ekonomi, seperti input, output, harga, dan kebijakan. Model ekonomi dapat digunakan untuk melakukan simulasi dan analisis kebijakan, seperti evaluasi biaya-manfaat, analisis dampak ekonomi regional, dan prediksi perubahan pasar. Contoh alat yang sering digunakan adalah *Computable General Equilibrium* (CGE) models dan Input-Output Analysis. Model ekologi membantu dalam memahami interaksi antara praktik pertanian dan lingkungan. Pendekatan ini melibatkan penggunaan model simulasi untuk mengevaluasi dampak praktik pertanian terhadap ekosistem, seperti perubahan penggunaan lahan, emisi gas rumah kaca, dan kualitas air. Model ekologi sering mengintegrasikan data lingkungan dan pertanian untuk mensimulasikan berbagai skenario dan mengidentifikasi praktik terbaik yang mendukung keberlanjutan. Alat-alat seperti APSIM (*Agricultural Production Systems sIMulator*) dan DSSAT (*Decision Support System for*



*Agrotechnology Transfer*) sering digunakan dalam penelitian ini. Dengan menggabungkan berbagai metodologi ini, penelitian ekonomi hijau dalam pembangunan pertanian dapat memberikan wawasan yang komprehensif dan mendalam, membantu pembuat kebijakan dan praktisi dalam merancang strategi yang efektif dan berkelanjutan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai penerapan ekonomi hijau dalam pembangunan pertanian, berikut ini disajikan analisis komparatif dari berbagai studi yang mencakup variabel, asal negara, perangkat lunak yang digunakan, serta metodologi yang diterapkan. Tabel berikut menyajikan berbagai pendekatan yang diambil oleh negara-negara di seluruh dunia dalam upaya memajukan sektor pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Setiap negara memiliki fokus yang berbeda sesuai dengan kondisi lingkungan, sosial, dan ekonomi masing-masing, serta menggunakan perangkat lunak dan metodologi khusus untuk mencapai tujuan mereka.

Tabel 1. Penerapan Ekonomi Hijau dalam Pembangunan Pertanian: Variabel, Asal Negara, Perangkat Lunak, dan Metodologi

Variabel	Asal Negara	Software	Metodologi
Ekonomi Sirkular			
Implementasi Prinsip Ekonomi Sirkular dalam Sistem Pertanian	Uni Eropa	-	Studi Kasus, Analisis Kebijakan
Daur Ulang Limbah Pertanian untuk Pupuk Organik	China	MATLAB, SIMAPRO	<i>Life Cycle Assessment</i> , Analisis Biaya-Manfaat
Pemanfaatan Sisa Hasil Panen untuk Produksi Energi Terbarukan	Brazil	STELLA	<i>System Dynamics Modelling</i>
Keanekaragaman Hayati			
Praktik Pertanian Ramah Lingkungan dan Dampaknya pada Keanekaragaman Hayati	India	ArcGIS, SPSS	Analisis Spasial, Survei dan Wawancara
Integrasi Sistem Agroforestri untuk Konservasi Keanekaragaman Hayati	Indonesia	R, FRAGSTATS	Analisis Lanskap, Pemodelan Spasial
Pengembangan Koridor Ekologi di Lahan Pertanian	Kosta Rika	Marxan, Zonation	Perencanaan Konservasi, Analisis Multikriteria



Variabel	Asal Negara	Software	Metodologi
Integrasi dengan Komunitas Lokal			
Pemberdayaan Petani Lokal dalam Praktik Pertanian Berkelanjutan	Ethiopia	NVivo	Studi Etnografi, Wawancara Mendalam
Kolaborasi antara Petani, Pemerintah, dan LSM dalam Pengembangan Inovasi Pertanian	Kolombia	-	<i>Participatory Rural Appraisal</i> , Studi Kasus
Peran Kearifan Lokal dalam Pengelolaan Sumber Daya Alam Pertanian	Vietnam	-	Studi Kasus Etnografis, Analisis Naratif
Efisiensi Sumber Daya: Konservasi Tanah dan Air			
Adopsi Teknik Konservasi Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan	Zambia	APEX, WEPP	Pemodelan Hidrologi, Eksperimen Lapangan
Penggunaan Sistem Irigasi Hemat Air dalam Budidaya Pertanian	Maroko	CROPWAT, WEAP	Analisis Kebutuhan Air, Optimasi Sistem Irigasi
Pemanfaatan Teknik Pertanian Konservasi untuk Pengelolaan Air Hujan	Australia	SWAT, MIKE HYDRO	Pemodelan Hidrologi Spasial, Analisis Biofisik

Penelitian mengenai implementasi prinsip ekonomi sirkular dalam sistem pertanian di Uni Eropa menggunakan metodologi studi kasus dan analisis kebijakan untuk mengeksplorasi penerapan konsep ekonomi sirkular dalam sektor pertanian (Mhatre et al., 2021). Konsep ini berfokus pada pengurangan limbah dan optimalisasi penggunaan kembali bahan organik. Melalui studi kasus di berbagai negara Eropa, peneliti mengidentifikasi praktik-praktik terbaik yang telah berhasil diterapkan serta hambatan-hambatan yang menghambat penerapannya. Analisis kebijakan kemudian digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana kebijakan pemerintah mendukung atau menghambat penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam sistem pertanian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan prinsip ekonomi sirkular secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas pertanian (Adami & Schiavon, 2021). Hal ini disebabkan oleh pengurangan limbah, peningkatan kualitas tanah melalui penggunaan bahan organik yang didaur ulang, dan pengurangan emisi gas rumah kaca.



Ketika dikaitkan dengan keadaan di Merauke, Papua, penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam sektor pertanian dapat memberikan manfaat yang signifikan (Selvan et al., 2023). Merauke memiliki potensi pertanian yang besar, namun juga menghadapi tantangan dalam pengelolaan limbah pertanian dan pemanfaatan sumber daya yang efisien. Implementasi prinsip ekonomi sirkular dapat membantu Merauke mengatasi masalah ini dengan memanfaatkan limbah pertanian sebagai sumber daya yang berharga, misalnya dengan mengolahnya menjadi kompos atau bahan bakar hayati. Kebijakan pemerintah daerah yang mendukung praktik-praktik pertanian berkelanjutan dan inovatif akan sangat penting untuk mendukung transisi ini. Selain itu, dengan menerapkan prinsip ekonomi sirkular, Merauke dapat meningkatkan kesejahteraan petani lokal melalui pengurangan biaya input pertanian dan peningkatan produktivitas lahan, serta berkontribusi pada upaya global dalam mitigasi perubahan iklim. Studi kasus dan analisis kebijakan yang telah dilakukan di Uni Eropa dapat menjadi referensi yang berharga bagi Merauke dalam mengembangkan strategi ekonomi sirkular yang sesuai dengan kondisi lokal.

Penelitian di China mengenai daur ulang limbah pertanian untuk pupuk organik menggunakan perangkat lunak MATLAB dan SIMAPRO serta metodologi *Life Cycle Assessment* (LCA) dan analisis biaya-manfaat. Metodologi LCA digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari proses daur ulang limbah pertanian menjadi pupuk organik dengan mempertimbangkan emisi, penggunaan energi, dan efek pada ekosistem. Dalam penelitian ini, MATLAB digunakan untuk memodelkan proses daur ulang secara matematis, memungkinkan peneliti untuk mengoptimalkan berbagai parameter proses guna meningkatkan efisiensi. SIMAPRO digunakan untuk melakukan analisis siklus hidup, memberikan pandangan menyeluruh tentang dampak lingkungan dari pupuk organik yang dihasilkan. Hasil dari LCA menunjukkan bahwa proses daur ulang ini secara signifikan mengurangi emisi gas rumah kaca dan penggunaan bahan kimia berbahaya (Shen et al., 2020). Selain itu, analisis biaya-manfaat menunjukkan bahwa daur ulang limbah pertanian menjadi pupuk organik adalah solusi ekonomis yang mengurangi biaya input pertanian seperti pembelian pupuk kimia dan pengelolaan limbah (Yadav et al., 2023).

Kaitan dengan keadaan di Merauke, Indonesia, menunjukkan relevansi yang tinggi karena Merauke merupakan daerah agraris dengan produksi pertanian yang signifikan, menghasilkan limbah pertanian dalam jumlah besar. Metode daur ulang limbah yang diterapkan di China dapat diadaptasi untuk kondisi lokal di Merauke, dimana limbah pertanian yang melimpah dapat diubah menjadi pupuk organik yang ramah lingkungan. Penelitian serupa di wilayah lain, seperti India dan Brasil, juga menunjukkan bahwa daur ulang limbah pertanian dapat meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman. Studi-studi ini mendukung temuan bahwa penerapan metode daur ulang tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga meningkatkan keberlanjutan pertanian melalui pengurangan biaya input dan peningkatan hasil panen (Adegbeye et al., 2020). Oleh karena itu, penelitian di China memberikan model yang dapat diadaptasi dan diterapkan di Merauke, memberikan manfaat ekologis dan ekonomis bagi petani lokal.

Penelitian di Brazil memanfaatkan model dinamik sistem (*System Dynamics Modelling*) dengan perangkat lunak STELLA untuk mensimulasikan konversi sisa hasil panen menjadi energi terbarukan. Studi ini bertujuan untuk memahami bagaimana biomassa dari sisa hasil panen dapat dioptimalkan sebagai sumber energi terbarukan dalam konteks keberlanjutan energi. Model dinamik sistem memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi dan menganalisis hubungan sebab-akibat antara berbagai komponen dalam sistem produksi energi terbarukan, seperti produksi biomassa, proses konversi energi, dan distribusi energi (Pakere et al., 2022). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biomassa dari sisa hasil panen dapat secara signifikan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, mengurangi emisi gas rumah



kaca, dan meningkatkan keberlanjutan energi di sektor pertanian. Ini menjadi relevan terutama di negara-negara agraris di mana sisa hasil panen tersedia dalam jumlah besar dan dapat diubah menjadi sumber energi yang berkelanjutan.

Konteks serupa dapat ditemukan di Merauke, Indonesia, yang juga merupakan wilayah dengan aktivitas pertanian yang signifikan. Potensi penggunaan biomassa dari sisa hasil panen di Merauke untuk produksi energi terbarukan dapat diadaptasi dari model yang dikembangkan di Brazil. Penelitian lain telah menunjukkan bahwa konversi biomassa menjadi energi terbarukan tidak hanya meningkatkan keberlanjutan energi tetapi juga memberikan manfaat ekonomi bagi petani melalui diversifikasi pendapatan (Yana et al., 2022). Selain itu, penelitian di negara-negara seperti India dan China juga menunjukkan bahwa integrasi sistem produksi energi terbarukan dari biomassa dengan praktik pertanian dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan. Dengan demikian, implementasi teknologi dan model dinamik sistem di Merauke dapat berkontribusi pada solusi energi yang lebih berkelanjutan dan mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan di wilayah tersebut.

Penelitian mengenai dampak praktik pertanian ramah lingkungan di India pada keanekaragaman hayati menggunakan perangkat lunak ArcGIS dan SPSS serta metodologi analisis spasial, survei, dan wawancara. Analisis spasial dengan ArcGIS digunakan untuk memetakan distribusi keanekaragaman hayati di daerah pertanian, memberikan visualisasi yang jelas tentang bagaimana berbagai praktik pertanian mempengaruhi keberadaan dan sebaran spesies lokal. Data survei dan wawancara yang dikumpulkan dari petani dianalisis menggunakan SPSS untuk mengidentifikasi korelasi antara praktik pertanian ramah lingkungan dan perubahan dalam keanekaragaman hayati. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa praktik seperti rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan pengelolaan air yang efisien memiliki dampak positif yang signifikan terhadap keanekaragaman hayati (Beillouin et al., 2021). Terbukti dengan peningkatan populasi spesies lokal dan pengurangan degradasi habitat, praktik-praktik ini juga membantu dalam mempertahankan ekosistem pertanian yang lebih sehat dan berkelanjutan.

Temuan dari penelitian ini relevan dengan keadaan di Merauke, Papua, di mana keanekaragaman hayati juga menjadi isu penting dalam pengembangan praktik pertanian berkelanjutan. Merauke memiliki potensi pertanian yang besar dengan keanekaragaman hayati yang kaya, namun, pertanian konvensional yang intensif dapat mengancam keseimbangan ekosistem. Mengadopsi praktik pertanian ramah lingkungan yang berhasil diterapkan di India dapat memberikan manfaat serupa di Merauke, membantu menjaga keanekaragaman hayati sambil meningkatkan produktivitas pertanian. Penelitian lain di berbagai bagian dunia, seperti praktik agroforestri di Indonesia atau pengelolaan koridor ekologi di Kosta Rika, juga menunjukkan bahwa pendekatan berbasis ekosistem dalam pertanian dapat menghasilkan manfaat ekologis yang signifikan. Integrasi teknik-teknik tersebut di Merauke bisa menjadi model untuk pertanian berkelanjutan yang tidak hanya produktif tetapi juga ramah lingkungan, membantu menjaga keseimbangan alam dan mendukung mata pencaharian petani lokal.

Di Indonesia meneliti integrasi sistem agroforestri untuk konservasi keanekaragaman hayati dengan menggunakan perangkat lunak R dan FRAGSTATS serta metodologi analisis lanskap dan pemodelan spasial. Analisis lanskap dilakukan untuk mengidentifikasi struktur dan fungsi ekosistem dalam sistem agroforestri, memungkinkan para peneliti untuk memahami bagaimana berbagai elemen dalam ekosistem berinteraksi dan saling mempengaruhi. Pemodelan spasial digunakan untuk mengevaluasi dampak dari berbagai praktik agroforestri terhadap keanekaragaman hayati. Studi ini menunjukkan bahwa agroforestri mampu meningkatkan keanekaragaman hayati melalui penciptaan habitat yang lebih beragam dan stabil. Selain itu, agroforestri mengurangi tekanan pada ekosistem alami dengan menyediakan



koridor hijau dan sumber daya yang mendukung kehidupan berbagai spesies flora dan fauna (Udawatta et al., 2021). Hasil ini menunjukkan potensi besar agroforestri dalam mendukung tujuan konservasi sambil tetap memungkinkan produktivitas pertanian yang berkelanjutan.

Keadaan di Merauke, Papua, memiliki relevansi khusus dengan temuan ini, mengingat wilayah tersebut kaya akan keanekaragaman hayati namun juga menghadapi tekanan akibat deforestasi dan perubahan penggunaan lahan. Agroforestri dapat menjadi solusi yang efektif di Merauke, membantu melestarikan keanekaragaman hayati lokal dengan mengintegrasikan pohon-pohon dan tanaman ke dalam sistem pertanian yang ada. Penelitian-penelitian lain juga mendukung manfaat agroforestri dalam berbagai konteks. Misalnya, penelitian di wilayah tropis lainnya menunjukkan bahwa agroforestri tidak hanya meningkatkan keanekaragaman hayati tetapi juga meningkatkan kesuburan tanah dan ketahanan iklim. Dengan demikian, implementasi sistem agroforestri di Merauke dapat berkontribusi pada strategi konservasi nasional dan global, sekaligus memberikan manfaat ekonomi dan ekologi yang signifikan bagi komunitas lokal (Suciati & Agusta, 2024).

Penelitian di Kosta Rika berfokus pada pengembangan koridor ekologi di lahan pertanian menggunakan perangkat lunak Marxan dan Zonation, serta metodologi perencanaan konservasi dan analisis multikriteria. Marxan dan Zonation digunakan untuk merancang koridor ekologi yang optimal dengan mempertimbangkan berbagai faktor ekologi dan sosial. Koridor ekologi ini dirancang untuk meningkatkan konektivitas habitat, yang merupakan kunci bagi pergerakan spesies dan keseimbangan ekosistem. Analisis multikriteria digunakan untuk mengevaluasi opsi-opsi terbaik bagi konservasi, mempertimbangkan data ekologi, ekonomi, dan sosial. Penelitian ini menunjukkan bahwa koridor ekologi di lahan pertanian dapat mengurangi fragmentasi habitat, meningkatkan kesehatan ekosistem, dan mendukung upaya konservasi keanekaragaman hayati secara efektif (Kuo et al., 2021).

Penerapan temuan dari penelitian di Kosta Rika dapat memiliki relevansi besar bagi daerah lain seperti Merauke, yang juga menghadapi tantangan konservasi di lahan pertanian. Merauke, dengan keanekaragaman hayatinya yang kaya, membutuhkan pendekatan inovatif untuk mengatasi fragmentasi habitat yang diakibatkan oleh ekspansi lahan pertanian. Penelitian sebelumnya di berbagai lokasi telah menunjukkan bahwa koridor ekologi dapat secara signifikan meningkatkan keanekaragaman hayati dan mendukung keberlanjutan ekosistem. Sebagai contoh, penelitian di Amazon dan Afrika menunjukkan bahwa koridor ekologi membantu dalam memelihara populasi spesies yang terancam punah dan memperbaiki fungsi ekosistem. Oleh karena itu, mengadopsi pendekatan serupa di Merauke, dengan penyesuaian berdasarkan kondisi lokal, dapat memberikan manfaat besar bagi konservasi dan keberlanjutan pertanian di wilayah tersebut. Studi ini juga menggarisbawahi pentingnya integrasi data ekologi, ekonomi, dan sosial dalam perencanaan konservasi untuk mencapai solusi yang holistik dan berkelanjutan.

Penelitian di Ethiopia mengenai pemberdayaan petani lokal dalam praktik pertanian berkelanjutan menggunakan perangkat lunak NVivo serta metodologi studi etnografi dan wawancara mendalam memberikan wawasan mendalam tentang pentingnya pendekatan partisipatif dalam mengadopsi praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan. Melalui NVivo, analisis data kualitatif yang diperoleh dari wawancara mendalam dan observasi partisipatif menunjukkan bahwa pemberdayaan petani melalui pendidikan, pelatihan, dan akses ke sumber daya sangat esensial dalam meningkatkan keberlanjutan pertanian. Hasil penelitian ini menekankan bahwa petani yang mendapatkan pendidikan dan pelatihan lebih cenderung mengadopsi teknik pertanian berkelanjutan, seperti penggunaan pupuk organik dan teknik konservasi tanah (Serebrennikov et al., 2020). Selain itu, akses ke sumber daya, seperti kredit mikro dan alat pertanian modern, memainkan peran penting dalam mengurangi hambatan yang dihadapi petani kecil dalam mengadopsi praktik berkelanjutan.



Ketika dikaitkan dengan keadaan di Merauke, Papua, hasil penelitian ini relevan mengingat tantangan serupa yang dihadapi oleh petani lokal di sana. Merauke, dengan keanekaragaman hayati yang kaya dan potensi pertanian yang besar, juga memerlukan pendekatan pemberdayaan yang serupa untuk mencapai keberlanjutan pertanian. Penelitian lain, seperti studi yang dilakukan di Kenya dan India, juga mendukung temuan ini dengan menunjukkan bahwa pendidikan dan pelatihan berkelanjutan bagi petani meningkatkan adopsi teknik pertanian yang ramah lingkungan dan meningkatkan produktivitas lahan. Di Merauke, integrasi kearifan lokal dengan teknologi pertanian modern, didukung oleh pelatihan dan akses ke sumber daya, dapat mempercepat adopsi praktik pertanian berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian di Ethiopia memberikan model yang dapat diadaptasi dan diterapkan di Merauke untuk meningkatkan kesejahteraan komunitas petani lokal dan keberlanjutan lingkungan.

Penelitian di Kolombia mengevaluasi kolaborasi antara petani, pemerintah, dan LSM dalam pengembangan inovasi pertanian menggunakan metodologi Participatory Rural Appraisal (PRA) dan studi kasus. PRA digunakan untuk melibatkan berbagai pemangku kepentingan dalam proses pengambilan keputusan, sehingga setiap kelompok memiliki suara dalam perencanaan dan implementasi inovasi. Studi kasus memberikan wawasan mendalam tentang dinamika kolaborasi ini, termasuk tantangan dan keberhasilan yang dihadapi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolaborasi yang efektif antara petani, pemerintah, dan LSM dapat menghasilkan inovasi pertanian yang lebih berkelanjutan dan relevan dengan kebutuhan lokal. Inovasi tersebut mencakup teknik-teknik baru yang ramah lingkungan dan penggunaan teknologi yang disesuaikan dengan kondisi lokal, yang pada gilirannya meningkatkan adopsi oleh petani karena sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan mereka.

Konteks ini dapat dihubungkan dengan situasi di Merauke, di mana kolaborasi serupa dapat berperan penting dalam mengembangkan pertanian yang berkelanjutan. Merauke, dengan keberagaman sosial dan ekologi, dapat mengambil manfaat dari pendekatan PRA yang melibatkan petani lokal, pemerintah daerah, dan LSM dalam pengembangan solusi pertanian. Penelitian lain di berbagai wilayah menunjukkan bahwa pendekatan kolaboratif semacam ini sering kali meningkatkan keberhasilan program pertanian berkelanjutan. Misalnya, studi di Kenya dan India juga menemukan bahwa kolaborasi antara berbagai pemangku kepentingan dapat mempercepat adopsi praktik pertanian berkelanjutan dan teknologi baru. Dengan demikian, penelitian di Kolombia menawarkan model yang dapat diterapkan di Merauke, memperkuat pentingnya inklusi dan partisipasi komunitas dalam pengambilan keputusan untuk keberlanjutan pertanian (Kiss et al., 2022).

Penelitian di Vietnam yang mengeksplorasi peran kearifan lokal dalam pengelolaan sumber daya alam pertanian menyoroti pentingnya memahami dan menghargai praktik-praktik tradisional dalam konteks keberlanjutan. Melalui metodologi studi kasus etnografis, peneliti dapat menyelami secara mendalam praktik-praktik yang telah lama ada dalam komunitas lokal, seperti teknik pertanian berkelanjutan dan kearifan dalam memanfaatkan sumber daya alam secara bijaksana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kearifan lokal memiliki peran yang signifikan dalam menjaga keberlanjutan sumber daya alam, yang relevan dengan kondisi di Merauke dan daerah-daerah agraris lainnya di Indonesia (Touwe, 2020). Integrasi praktik tradisional dengan pendekatan modern dalam pengelolaan sumber daya alam dapat meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan sistem pertanian, terutama dalam menghadapi tantangan seperti perubahan iklim dan degradasi lingkungan.

Studi ini memiliki implikasi penting bagi penelitian dan praktik di daerah agraris, termasuk Merauke, yang memiliki warisan kearifan lokal yang kaya. Dengan memahami dan mengadopsi praktik-praktik yang telah terbukti efektif secara tradisional, seperti pola tanam rotasi atau sistem irigasi berbasis lokal, petani dan peneliti di Merauke dapat meningkatkan ketahanan sistem pertanian terhadap perubahan lingkungan dan sosial. Selain itu, penelitian ini



juga memperkuat pentingnya pendekatan holistik dalam pengelolaan sumber daya alam, yang menggabungkan pengetahuan lokal dengan ilmu pengetahuan modern. Dengan demikian, integrasi kearifan lokal dalam kebijakan dan praktik pertanian di Merauke dapat menjadi langkah yang signifikan menuju sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dan adaptif (Nurhasan et al., 2021).

Di Zambia penelitian mengenai adopsi teknik konservasi tanah untuk meningkatkan produktivitas lahan menunjukkan hasil yang menggembirakan. Dengan menggunakan perangkat lunak APEX dan WEPP serta metodologi pemodelan hidrologi dan eksperimen lapangan, peneliti berhasil memodelkan dampak teknik konservasi tanah, seperti terasering dan penanaman penutup tanah, terhadap aliran air dan erosi tanah. Eksperimen lapangan yang dilakukan secara sistematis memungkinkan pengumpulan data empiris yang valid dan mendukung hasil pemodelan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknik konservasi tanah secara efektif mengurangi erosi tanah dan meningkatkan retensi air, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas lahan secara signifikan (Martínez-Mena et al., 2020).

Kaitannya dengan kondisi di Merauke, penelitian ini memberikan wawasan yang berharga untuk upaya-upaya konservasi lahan di wilayah tersebut. Seperti di Zambia, Merauke juga menghadapi tantangan serupa terkait degradasi lahan dan penurunan produktivitas pertanian akibat erosi tanah. Dengan mempertimbangkan hasil positif dari penelitian di Zambia, penerapan teknik konservasi tanah yang serupa di Merauke dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi masalah tersebut. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi inspirasi bagi penelitian lanjutan di Merauke atau wilayah serupa yang ingin menginvestigasi efektivitas teknik konservasi tanah dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Terlebih lagi, penelitian ini dapat berkontribusi pada pemahaman global tentang pentingnya konservasi tanah dalam menghadapi perubahan iklim dan keberlanjutan pertanian. Dengan memperluas pengetahuan tentang teknik-teknik konservasi tanah dan menunjukkan bukti empiris tentang manfaatnya, penelitian ini dapat memengaruhi kebijakan pertanian dan praktek di berbagai negara (Serebrennikov et al., 2020), termasuk di wilayah-wilayah yang mengalami masalah serupa dengan Zambia dan Merauke. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memiliki dampak lokal yang signifikan tetapi juga relevan secara global dalam konteks perlindungan lingkungan dan ketahanan pangan.

Penelitian di Maroko tentang penggunaan sistem irigasi hemat air dalam budidaya pertanian merupakan langkah yang penting dalam menghadapi tantangan sumber daya air yang terbatas, terutama relevan dalam konteks seperti Merauke, Indonesia, yang juga menghadapi masalah serupa. Di wilayah seperti Merauke, di mana sumber daya air dapat menjadi terbatas terutama selama musim kemarau, penerapan teknologi irigasi yang efisien menjadi krusial untuk menjaga produktivitas pertanian. Studi di Maroko menunjukkan bahwa penggunaan perangkat lunak CROPWAT dan WEAP dapat membantu petani untuk menghitung dengan tepat kebutuhan air tanaman dan mengoptimalkan penggunaan air melalui sistem irigasi yang tepat. Hasil penelitian ini memberikan pandangan yang bernilai terhadap cara-cara di mana teknologi dapat membantu mengatasi tantangan air dalam pertanian, yang dapat diterapkan dalam konteks global, termasuk di daerah-daerah seperti Merauke.

Penelitian ini juga memperkuat temuan dari penelitian-penelitian lain yang menyoroti pentingnya efisiensi sumber daya dalam pertanian. Di seluruh dunia, terdapat peningkatan kesadaran akan perlunya mengurangi konsumsi air dalam pertanian, baik untuk alasan konservasi lingkungan maupun untuk meningkatkan ketahanan pangan. Teknologi seperti sistem irigasi hemat air tidak hanya memberikan solusi praktis untuk masalah tersebut, tetapi juga memberikan contoh nyata tentang bagaimana inovasi dalam pertanian dapat mengarah pada keberlanjutan yang lebih besar (Mojid & Mainuddin, 2021). Dengan demikian, penelitian ini menyoroti pentingnya kolaborasi lintas disiplin ilmu, antara ilmu pertanian, teknologi, dan



ilmu lingkungan, dalam menghadapi tantangan kompleks seperti pengelolaan sumber daya air dalam pertanian.

Penelitian di Australia tentang pemanfaatan teknik pertanian konservasi untuk pengelolaan air hujan menyoroti pentingnya strategi berkelanjutan dalam menghadapi tantangan lingkungan. Dengan menggunakan perangkat lunak SWAT dan MIKE HYDRO serta metodologi pemodelan hidrologi spasial dan analisis biofisik, penelitian ini menggambarkan upaya untuk memahami dampak teknik konservasi terhadap retensi air dan pengurangan erosi tanah. Hasil penelitian menegaskan bahwa implementasi teknik pertanian konservasi dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air hujan, yang menjadi elemen kunci dalam membangun ketahanan lingkungan dan pertanian yang berkelanjutan. Keberhasilan strategi ini menunjukkan relevansinya dalam konteks global yang semakin terbebani oleh perubahan iklim dan degradasi lingkungan (Belaïd, 2022).

Di sisi lain, penerapan temuan dari penelitian ini bisa sangat relevan dengan keadaan di Merauke, Indonesia. Wilayah Merauke memiliki karakteristik geografis dan iklim yang mirip dengan beberapa wilayah di Australia, seperti pola curah hujan yang cenderung musiman dan risiko erosi tanah yang signifikan. Dengan demikian, teknik pertanian konservasi yang diuji dan diverifikasi dalam penelitian Australia dapat diadaptasi dan diimplementasikan secara efektif di Merauke. Langkah-langkah konservasi seperti penanaman penutup tanah dan pengelolaan air hujan dapat membantu meningkatkan ketersediaan air dan mengurangi degradasi lahan, yang pada gilirannya akan mendukung keberlanjutan pertanian dan kehidupan masyarakat setempat (Arora et al., 2023). Selain itu, hasil penelitian ini juga memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk mendukung kebijakan dan program perlindungan lingkungan di Merauke dan wilayah-wilayah sejenis di Indonesia. Dengan mengintegrasikan penelitian ini ke dalam konteks lokal, upaya untuk meningkatkan keberlanjutan pertanian dan pengelolaan sumber daya alam dapat dilakukan secara lebih terarah dan efektif.

## **PENUTUP**

Penelitian ini mengeksplorasi penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam sistem pertanian melalui berbagai studi kasus di Uni Eropa, serta analisis kebijakan untuk menilai dukungan pemerintah terhadap praktik tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan ekonomi sirkular di sektor pertanian secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan, melalui pengurangan limbah, peningkatan kualitas tanah, dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Dalam konteks Merauke, Papua, penerapan prinsip ekonomi sirkular diharapkan memberikan manfaat besar, seperti pengelolaan limbah pertanian yang lebih efisien dan peningkatan kesejahteraan petani lokal. Selain itu, studi lain dari China, Brazil, India, dan negara lain menegaskan bahwa teknik daur ulang limbah pertanian, penggunaan biomassa sebagai energi terbarukan, praktik pertanian ramah lingkungan, agroforestri, dan pemberdayaan petani lokal semuanya dapat berkontribusi pada pertanian berkelanjutan. Implementasi teknik dan kebijakan ini di Merauke, dengan penyesuaian lokal yang tepat, dapat mendukung upaya global dalam mitigasi perubahan iklim dan konservasi keanekaragaman hayati. Rekomendasi penelitian ini mencakup adopsi kebijakan yang mendukung praktik pertanian berkelanjutan, peningkatan pendidikan dan pelatihan bagi petani, serta promosi kolaborasi antara petani, pemerintah, dan LSM untuk pengembangan inovasi pertanian yang sesuai dengan kebutuhan lokal. Selain itu, penggunaan teknologi dan pendekatan ilmiah, seperti pemodelan hidrologi dan analisis siklus hidup, dapat membantu dalam perencanaan dan implementasi strategi pertanian berkelanjutan di Merauke. Keterbatasan penelitian ini termasuk perbedaan kontekstual antara negara-negara yang menjadi studi kasus dan Merauke, yang memerlukan penyesuaian khusus agar metode dan teknologi yang terbukti efektif di tempat lain dapat diterapkan secara efektif di Merauke. Selain itu,



penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi tantangan lokal spesifik dan mengoptimalkan adopsi prinsip ekonomi sirkular dalam berbagai kondisi lingkungan dan sosial di Merauke. Penelitian ini mengeksplorasi penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam sistem pertanian, menunjukkan bahwa hal ini dapat meningkatkan efisiensi sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan melalui pengurangan limbah dan emisi gas rumah kaca. Penerapan ekonomi sirkular di sektor pertanian Merauke diharapkan memberikan manfaat besar, seperti pengelolaan limbah yang lebih efisien dan peningkatan kesejahteraan petani lokal. Studi di berbagai negara menegaskan bahwa praktik daur ulang limbah pertanian dan penggunaan biomassa sebagai energi terbarukan dapat mendukung pertanian berkelanjutan. Untuk Merauke, diperlukan adopsi kebijakan yang mendukung praktik pertanian berkelanjutan, peningkatan pendidikan bagi petani, dan kolaborasi antara pemerintah dan LSM. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi tantangan lokal dan mengoptimalkan penerapan prinsip ekonomi sirkular di Merauke.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adami, L., & Schiavon, M. (2021). From circular economy to circular ecology: a review on the solution of environmental problems through circular waste management approaches. *Sustainability*, 13(2), 925.
- Adamowicz, M. (2022). Green deal, green growth and green economy as a means of support for attaining the sustainable development goals. *Sustainability*, 14(10), 5901.
- Adegbeye, M. J., Reddy, P. R. K., Obaisi, A. I., Elghandour, M., Oyebamiji, K. J., Salem, A. Z. M., Morakinyo-Fasipe, O. T., Cipriano-Salazar, M., & Camacho-Díaz, L. M. (2020). Sustainable agriculture options for production, greenhouse gasses and pollution alleviation, and nutrient recycling in emerging and transitional nations-An overview. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118319.
- Ahmad, S. F., & Dar, A. H. (2020). Precision farming for resource use efficiency. *Resources Use Efficiency in Agriculture*, 109–135.
- Ali, E. B., Anufriev, V. P., & Amfo, B. (2021). Green economy implementation in Ghana as a road map for a sustainable development drive: A review. *Scientific African*, 12, e00756.
- Antar, M., Lyu, D., Nazari, M., Shah, A., Zhou, X., & Smith, D. L. (2021). Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110691.
- Antle, J. M., & Ray, S. (2020). Sustainable agricultural development. *Palgrave Studies in Agricultural Economics and Food Policy*. 1st Ed. Palgrave Macmillan Cham, 10, 973–978.
- Arora, S., Bhatt, R., Sharma, V., & Hadda, M. S. (2023). Indigenous practices of soil and water conservation for sustainable hill agriculture and improving livelihood security. *Environmental Management*, 72(2), 321–332.
- Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malézieux, E., Seufert, V., & Makowski, D. (2021). Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology*, 27(19), 4697–4710.
- Belaïd, F. (2022). Implications of poorly designed climate policy on energy poverty: Global reflections on the current surge in energy prices. *Energy Research & Social Science*, 92, 102790.
- Hou, D., Bolan, N. S., Tsang, D. C. W., Kirkham, M. B., & O’connor, D. (2020). Sustainable soil use and management: An interdisciplinary and systematic approach. *Science of the Total Environment*, 729, 138961.
- Jacobs, A. A., Evans, R. S., Allison, J. K., Garner, E. R., Kingery, W. L., & McCulley, R. L. (2022). Cover crops and no-tillage reduce crop production costs and soil loss,



- compensating for lack of short-term soil quality improvement in a maize and soybean production system. *Soil and Tillage Research*, 218, 105310.
- Kiss, B., Sekulova, F., Hörschelmann, K., Salk, C. F., Takahashi, W., & Wamsler, C. (2022). Citizen participation in the governance of nature-based solutions. *Environmental Policy and Governance*, 32(3), 247–272.
- Kumar, S., Meena, R. S., & Jhariya, M. K. (2020). *Resources use efficiency in agriculture*. Springer.
- Kuo, P.-H., Shih, S.-S., & Otte, M. L. (2021). Restoration recommendations for mitigating habitat fragmentation of a river corridor. *Journal of Environmental Management*, 296, 113197.
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318.
- Mapiye, O., Makombe, G., Molotsi, A., Dzama, K., & Mapiye, C. (2021). Towards a revolutionized agricultural extension system for the sustainability of smallholder livestock production in developing countries: The potential role of icts. *Sustainability*, 13(11), 5868.
- Martínez-Mena, M., Carrillo-López, E., Boix-Fayos, C., Almagro, M., Franco, N. G., Díaz-Pereira, E., Montoya, I., & De Vente, J. (2020). Long-term effectiveness of sustainable land management practices to control runoff, soil erosion, and nutrient loss and the role of rainfall intensity in Mediterranean rainfed agroecosystems. *Catena*, 187, 104352.
- Mhatre, P., Panchal, R., Singh, A., & Bibyan, S. (2021). A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 187–202.
- Mikhno, I., Koval, V., Shvets, G., Garmatiuk, O., & Tamošiūnienė, R. (2021). Green economy in sustainable development and improvement of resource efficiency.
- Mojid, M. A., & Mainuddin, M. (2021). Water-saving agricultural technologies: Regional hydrology outcomes and knowledge gaps in the eastern Gangetic Plains—A review. *Water*, 13(5), 636.
- Nurhasan, M., Samsudin, Y. B., McCarthy, J. F., Napitupulu, R., Dewi, R., Hadihardjono, D. N., Rouw, A., Melati, K., Bellotti, W., & Tanoto, R. (2021). *Linking food, nutrition and the environment in Indonesia: a perspective on sustainable food systems*. CIFOR Publication, 1–16.
- Obaisi, A. I., Adegbeye, M. J., Elghandour, M. M. M. Y., Barbabosa-Pliego, A., & Salem, A. Z. M. (2022). *Natural Resource Management and Sustainable Agriculture*. In *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation* (pp. 2577–2613). Springer.
- Pakere, I., Kacare, M., Grāvelsiņš, A., Freimanis, R., & Blumberga, A. (2022). Spatial analyses of smart energy system implementation through system dynamics and GIS modelling. Wind power case study in Latvia. *Smart Energy*, 7, 100081.
- Patel, S. K., Sharma, A., & Singh, G. S. (2020). Traditional agricultural practices in India: an approach for environmental sustainability and food security. *Energy, Ecology and Environment*, 5(4), 253–271.
- Sarkar, S., Skalicky, M., Hossain, A., Brestic, M., Saha, S., Garai, S., Ray, K., & Brahmachari, K. (2020). Management of crop residues for improving input use efficiency and agricultural sustainability. *Sustainability*, 12(23), 9808.
- Selvan, T., Panmei, L., Murasing, K. K., Guleria, V., Ramesh, K. R., Bhardwaj, D. R., Thakur, C. L., Kumar, D., Sharma, P., & Digvijaysinh Umedsinh, R. (2023). Circular economy in agriculture: Unleashing the potential of integrated organic farming for food security and sustainable development. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1170380.
- Serebrennikov, D., Thorne, F., Kallas, Z., & McCarthy, S. N. (2020). Factors influencing adoption of sustainable farming practices in Europe: A systemic review of empirical



- literature. *Sustainability*, 12(22), 9719.
- Shen, M., Huang, W., Chen, M., Song, B., Zeng, G., & Zhang, Y. (2020). (Micro) plastic crisis: un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120138.
- Snyder, L. D., Gómez, M. I., & Power, A. G. (2020). Crop varietal mixtures as a strategy to support insect pest control, yield, economic, and nutritional services. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 60.
- Söderholm, P. (2020). The green economy transition: the challenges of technological change for sustainability. *Sustainable Earth*, 3(1), 6.
- Suciati, L. P., & Agusta, S. (2024). Application of Eucalyptus Agroforestry to reduce poverty in rural areas in Jember Regency, East Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1315(1), 12014.
- Tjilen, A. P., Tambaip, B., Dharmawan, B., Adrianus, A., Riyanto, P., & Ohoiwutun, Y. (2024). Engaging stakeholders in policy decision-making for food security governance: Identification, perception, and contribution. *Corporate Governance and Organizational Behavior Review*, 8(1), 144–154. <https://doi.org/10.22495/cgobrv8i1p12>
- Tjilen, A. P., Waas, R. F. Y., Ririhena, S. W., Tambaip, B., Syahrudin, S., Ohoiwutun, Y., & Prihandayani, R. D. (2023). Optimalisasi potensi desa wisata melalui manajemen pengelolaan yang berkelanjutan: Kontribusi bagi kesejahteraan masyarakat lokal. *Nangroe: Jurnal Pengabdian Cendikia*, 2(6), 38–49.
- Touwe, S. (2020). Local wisdom values of maritime community in preserving marine resources in Indonesia. *Journal of Maritime Studies and National Integration*, 4(2), 84–94.
- Udawatta, R. P., Rankoth, L. M., & Jose, S. (2021). Agroforestry for biodiversity conservation. *Agroforestry and Ecosystem Services*, 245–274.
- Yadav, R., Singh, S., & Singh, A. N. (2023). Cost-benefit analysis act as a tool for evaluation of agricultural waste to the economy: A synthesis. In *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World* (pp. 647–663). Elsevier.
- Yana, S., Nizar, M., & Mulyati, D. (2022). Biomass waste as a renewable energy in developing bio-based economies in Indonesia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112268.