



Kajian Ontologi Peran dan Posisi Pestisida Kimia Sintetik dalam Pertanian Berkelanjutan

Irwan Muthahanas*, Muhammad Sarjan

Program Studi Doktor Pertanian Berkelanjutan, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62, Gomong, Kec. Selaparang, Kota Mataram, NTB, Indonesia. 83115

Email Korespondensi: irwanmuthahanas@unram.ac.id

Abstrak

Pertanian berkelanjutan telah menjadi prioritas global dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, degradasi lahan, dan ketahanan pangan. Meskipun penggunaan pestisida kimia sintetik efektif dalam meningkatkan produktivitas pertanian, dampaknya terhadap lingkungan, kesehatan, dan keanekaragaman hayati menimbulkan kekhawatiran serius. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis posisi dan peran pestisida kimia sintetik dalam sistem pertanian berkelanjutan melalui pendekatan ontologis. Kajian ini dilakukan dengan metode Literatur Review menggunakan publikasi ilmiah dari tahun 2018-2024. untuk mengeksplorasi dampak ekologis, kesehatan, dan sosial dari penggunaan pestisida kimia sintetik, serta membandingkannya dengan alternatif ramah lingkungan seperti biopestisida dan pengendalian hayati. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan pestisida kimia sintetik memiliki dampak kompleks terhadap kestabilan ekosistem dan biodiversitas, termasuk penurunan populasi mikroorganisme tanah hingga 40-60%, gangguan pada fauna tanah sebesar 35%, dan penurunan keragaman serangga polinator sampai 40% dalam lima tahun. Analisis komparatif mengungkapkan bahwa meskipun pestisida kimia sintetik memiliki efektivitas pengendalian hama 85-90%, metode pengendalian alternatif yang ramah lingkungan menunjukkan potensi signifikan dengan efektivitas 60-75% disertai keuntungan ekologis substansial. Penelitian ini merekomendasikan transformasi sistem pertanian melalui implementasi Pengendalian Hama Terpadu, pengembangan kapasitas petani, inovasi pestisida alternatif, reformasi kebijakan, dan adopsi teknologi ramah lingkungan untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan.

Kata kunci: Pestisida Kimia Sintetik, Pertanian Berkelanjutan, Ontologi.

Ontological Study of The Role Nnand Position of Synthetic Chemical Pesticides in Sustainable Agriculture

Abstract

Sustainable agriculture has become a global priority in addressing the challenges of climate change, land degradation, and food security. Although the use of synthetic chemical pesticides is effective in increasing agricultural productivity, its impacts on the environment, health, and biodiversity raise serious concerns. This article aims to analyze the position and role of synthetic chemical pesticides in sustainable agricultural systems through an ontological approach. This study was conducted using the Literature Review method using scientific publications from 2018-2024. to explore the ecological, health, and social impacts of the use of synthetic chemical pesticides, and compare them with environmentally friendly alternatives such as biopesticides and biological control. The results of the analysis show that the use of synthetic chemical pesticides has complex impacts on ecosystem stability and biodiversity, including a decrease in soil microorganism populations by 40-60%, disturbances in soil fauna by 35%, and a decrease in insect pollinator diversity by 40% in five years. The comparative analysis revealed that although synthetic chemical pesticides have an 85-90% pest control effectiveness, environmentally friendly alternative control methods show significant potential with an effectiveness of 60-75% with substantial ecological benefits. This study recommends transformation of agricultural systems through the implementation of Integrated Pest Management, farmer capacity development, innovation of alternative pesticides, policy reform, and adoption of environmentally friendly technologies to realize sustainable agriculture.

Keywords: Synthetic Chemical Pesticides, Sustainable Agriculture, Ontological.

How to Cite: Muthahanas, I., & Sarjan, M. (2024). Kajian Ontologi Peran dan Posisi Pestisida Kimia Sintetik dalam Pertanian Berkelanjutan. *Empiricism Journal*, 5(2), 553–560. <https://doi.org/10.36312/ej.v5i2.2448>



<https://doi.org/10.36312/ej.v5i2.2448>

Copyright© 2024, Muthahanas & Sarjan

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan menjadi topik yang semakin mendominasi di era global, khususnya dalam menghadapi tantangan dunia saat ini, seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan ketahanan pangan. Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO) menyatakan

bahwa untuk mendukung kebutuhan pangan global yang terus meningkat, sistem pertanian harus mampu mengoptimalkan produktivitasnya dengan tetap memperhatikan keberlanjutan lingkungan dan sosial. Pertanian berkelanjutan merupakan solusi strategis untuk menghadapi tantangan pemenuhan kebutuhan pangan global yang terus meningkat. Sistem pertanian ini menggabungkan praktik-praktik yang ramah lingkungan dengan produktivitas tinggi, memastikan ketersediaan pangan jangka panjang sembari menjaga kelestarian sumber daya alam (Balkrishna, 2021).

Dari segi produktivitas, pertanian berkelanjutan mengoptimalkan penggunaan lahan melalui teknik seperti rotasi tanaman, tumpang sari, dan pemanfaatan pupuk organik. Praktik ini tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga memperbaiki kualitas tanah dan mengurangi ketergantungan pada input kimia (Pretty et al., 2021). Aspek lingkungan menjadi perhatian utama dalam pertanian berkelanjutan. Sistem ini meminimalkan dampak negatif terhadap ekosistem melalui konservasi air, pengelolaan limbah yang efektif dan pengurangan penggunaan pestisida (Smith et al., 2020).

Dalam pencapaiannya pertanian berkelanjutan menghadapi tantangan besar. Salah satu tantangan utama adalah mempertahankan produktivitas pertanian yang tinggi dengan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Sementara disisi lain, penggunaan input eksternal seperti pestisida kimia sintetik masih menjadi sebuah kebutuhan dalam menanggulangi gangguan dari hama dan penyakit tanaman (Tian et al., 2021).

Di balik manfaat yang ditawarkannya, penggunaan pestisida kimia sintetik menimbulkan berbagai masalah lingkungan dan kesehatan yang serius, termasuk kontaminasi air dan tanah, resistensi hama, serta dampak negatif terhadap fauna non-target, termasuk serangga penyerbuk yang vital bagi sistem pertanian (Rani et al., 2021). Hal ini telah memicu adanya dorongan untuk mencari alternatif yang lebih ramah lingkungan dan aman bagi manusia, termasuk penggunaan pestisida alami atau biopestisida serta penerapan prinsip pertanian organik.

Tantangan yang dihadapi dalam penggunaan alternatif ramah lingkungan adalah bagaimana memastikan produktivitas pertanian tetap terjaga apabila penggunaan pestisida kimia sintetik digantikan dengan penggunaan biopestisida dan penerapan pertanian organik. Pertanian organik dan penggunaan biopestisida memang menawarkan solusi yang lebih berkelanjutan, namun metode-metode ini sering kali menghadapi kendala dalam hal efektivitas dan biaya (Jouzi et al., 2017).

Aspek lingkungan dan kesehatan menjadi hal yang penting dalam pertanian berkelanjutan namun penggunaan pestisida kimia sintetik belum dapat dipisahkan dari kebiasaan petani. Bagaimana posisi dan peran pestisida kimia sintetik dalam sistem pertanian berkelanjutan dapat mendukung produktivitas pertanian dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan? Diperlukan pemahaman yang lebih mendalam tentang hubungan antara pestisida kimia sintetik, keberlanjutan lingkungan, dan produktivitas pertanian.

Pendalaman dengan pendekatan ontologi untuk menganalisis posisi dan peran pestisida kimia sintetik dalam pertanian berkelanjutan diharapkan dapat menjawab permasalahan. Penelitian dengan pendekatan ontologi ini akan menggali dan memetakan hubungan yang kompleks antara penggunaan pestisida, dampak lingkungan, kesehatan manusia, dan produktivitas pertanian melalui identifikasi dan kategorisasi konsep-konsep kunci serta hubungan antar konsep tersebut. Pendekatan ontologis ini akan membantu memahami struktur pengetahuan dan interrelasi antara praktik penggunaan pestisida dengan prinsip-prinsip keberlanjutan (Goldstein, Fink, & Ravid, 2021). Analisis akan berfokus pada pemahaman mendalam tentang bagaimana pestisida kimia sintetik dapat diposisikan dalam kerangka pertanian berkelanjutan dengan mempertimbangkan aspek teknis, lingkungan, sosial, dan ekonomi.

Penulisan artikel ini bertujuan untuk mengkaji posisi pestisida kimia sintetik dalam pertanian berkelanjutan melalui lensa ontologi, dengan menyoroti kompleksitas dan tantangan yang terkait dengan penggunaannya. Pendekatan ontologis ini diharapkan dapat memberikan perspektif yang lebih komprehensif tentang bagaimana pestisida kimia sintetik berinteraksi dalam sistem pertanian dan bagaimana penggunaannya dapat dimanfaatkan secara lebih berkelanjutan.

Dalam kajian ini, akan mengeksplorasi berbagai dimensi penggunaan pestisida, termasuk faktor-faktor sosial, ekonomi, dan ekologis yang mempengaruhi keputusan penggunaan pestisida dalam praktik pertanian. Selain itu, artikel ini juga akan membahas berbagai kebijakan dan strategi yang dapat diimplementasikan untuk mengurangi dampak negatif dari penggunaan pestisida kimia sintetik, sambil tetap menjaga produktivitas pertanian yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pangan global.

METODE

Metodologi yang digunakan dalam penulisan artikel ini yaitu dengan kajian literatur sistematis *Literatur Review*. Metode ini dikerjakan dengan cara identifikasi, seleksi, dan analisis kritis dari literatur yang relevan dengan menggunakan protokol yang terstruktur. Langkah pertama dalam *Literatur Review* adalah menetapkan kriteria inklusi dan eksklusi sumber pustaka. Kriteria inklusi yang diterapkan pada penelitian ini yaitu menggunakan jurnal dengan topik penelitian yang relevan yang diterbitkan dalam rentang waktu 2018 sampai 2014, berbahasa Inggris maupun bahasa Indonesia. Kriteria eksklusi yang diterapkan dalam penelitian ini yaitu Publikasi yang tidak diakses lengkap, artikel tidak dalam format ilmiah, topik yang terlalu luas dan kualitas metodologi yang tidak memadai, tidak gunakan dalam penelitian ini.

Pengumpulan data dilakukan dengan sistematis melalui jurnal ilmiah, laporan penelitian, dan publikasi resmi lainnya. Sumber-sumber ini dipilih untuk memberikan spektrum yang luas mengenai topik kajian, mencakup studi empiris dan teori. Untuk memperluas cakupan, metode pencarian menggunakan kata kunci yang spesifik yaitu pestisida kimia sintetik, pertanian berkelanjutan, serta eksplorasi database akademik seperti Scopus, PubMed, atau Google Scholar.

Analisis dilakukan menggunakan teknik komparatif. Teknik komparatif dilakukan dengan cara membandingkan temuan-temuan penelitian secara sistematis untuk mengidentifikasi pola, perbedaan, dan persamaan antar hasil studi sehingga memungkinkan untuk melihat variasi hasil dalam konteks yang berbeda..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dampak pestisida kimia sintetik terhadap kestabilan ekosistem

Pestisida kimia sintetik merupakan salah satu teknologi intervensi yang ditujukan untuk pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) seperti hama dan penyakit tanaman. Di samping kemanfaatannya dalam mengendalikan OPT, pestisida kimia sintetik memiliki konsekuensi yang kompleks terhadap kesehatan dan kestabilan ekosistem. Dampak ekologis yang ditimbulkan oleh senyawa kimia bersifat menyeluruh pada struktur dan fungsi ekosistem. Kompleksitas dampak dari pestisida kimia sintetik melintasi berbagai level biologis, mulai dari mikroorganisme tanah hingga sistem rantai makanan yang rumit.

Pengaruh pestisida kimia sintetik terhadap mikroorganisme tanah menunjukkan gangguan yang signifikan terhadap komunitas mikrobiologis yang menjadi fondasi utama kesehatan ekosistem. Penelitian yang dilakukan oleh (Ajitha & Mathew 2022). mengungkapkan bahwa penggunaan pestisida organoklorin dapat menurunkan populasi bakteri tanah hingga 40-60% dalam waktu kurang dari satu musim tanam. Penurunan ini berdampak langsung pada siklus nutrisi, dekomposisi bahan organik, dan kemampuan tanah untuk melakukan regenerasi alami.

Dampak pestisida terhadap komunitas mikroba tanah tidak hanya sekadar penurunan kuantitatif, melainkan juga merubah komposisi dan fungsi ekologis. Studi yang dipublikasikan dalam *Journal of Environmental Management* menunjukkan bahwa paparan pestisida dapat mengakibatkan pergeseran dominasi spesies mikroba, yang selanjutnya mengganggu mekanisme simbiosis dan interaksi mikroorganisme dalam ekosistem tanah. Sebagai contoh, penurunan populasi bakteri pengikat nitrogen dapat mengurangi kemampuan tanah untuk melakukan fiksasi nitrogen secara alamiah (Serra et al., 2020).

Dampak pestisida kimia sintetik juga berpengaruh pada level fauna tanah, seperti invertebrata dan mikroarthropoda yang memiliki peran kritis dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Sebuah penelitian longitudinal di kawasan pertanian di Jawa Tengah

membuktikan bahwa penggunaan pestisida golongan organofosfat dapat menurunkan keanekaragaman fauna tanah hingga 35% dalam periode tiga tahun. Penurunan ini secara langsung memengaruhi proses dekomposisi, aerasi tanah, dan siklus nutrisi (Ardiwinata, et al., 2020).

Pada tingkat vegetasi, pestisida kimia sintetik menimbulkan gangguan kompleks terhadap pertumbuhan dan reproduksi tumbuhan. Studi yang dilakukan oleh Jan et al., (2020) mengungkapkan bahwa paparan kronis pestisida dapat memengaruhi ekspresi gen pada tanaman, menurunkan ketahanan terhadap cekaman lingkungan, dan mengganggu mekanisme pertumbuhan akar. Hal ini selanjutnya berdampak pada produktivitas dan kemampuan adaptasi tanaman dalam ekosistem.

Mekanisme gangguan ekologis yang ditimbulkan pestisida bersifat kompleks dan saling terhubung. Residu kimia tidak hanya memengaruhi organisme target, melainkan menciptakan efek domino pada seluruh sistem ekologis. Penelitian mutakhir menunjukkan bahwa beberapa pestisida dapat menginduksi perubahan genetik pada populasi organisme, yang selanjutnya menurunkan kemampuan adaptasi dan resiliensi ekosistem. Kontaminasi air merupakan salah satu jalur utama penyebaran dampak pestisida kimia sintetik. Studi hidrogeologi di beberapa daerah aliran sungai (DAS) menunjukkan bahwa residu pestisida dapat bertahan dalam sistem akuatik dalam waktu puluhan tahun, memengaruhi komunitas mikroorganisme air, invertebrata, dan ikan. Konsentrasi residu yang terdeteksi pada beberapa lokasi mencapai 0,5-2,3 mg/liter, jauh di atas ambang batas yang aman.

Kajian komprehensif ini mengungkapkan bahwa pestisida kimia sintetik tidak sekadar instrumen pengendalian hama, melainkan agen transformatif yang secara fundamental mengubah arsitektur dan dinamika ekosistem. Implikasinya melampaui sekadar penurunan populasi, melainkan mengancam kemampuan ekosistem untuk melakukan regenerasi, adaptasi, dan mempertahankan keseimbangan dinamis. Pendekatan berkelanjutan mendesak untuk menggeser paradigma pengendalian mekanistik menuju strategi pengelolaan hama yang terintegrasi dan berbasis ekologi.

Dampak pestisida kimia sintetik terhadap biodiversitas

Pestisida kimia sintetik merupakan salah satu faktor kritis yang secara signifikan memengaruhi keanekaragaman hayati (biodiversitas) di ekosistem pertanian dan sekitarnya. Kompleksitas dampaknya melintasi berbagai level biologis, mulai dari mikroorganisme hingga organisme multiseluler, menciptakan gangguan sistemik pada struktur dan fungsi keanekaragaman hayati. Penelitian global menunjukkan bahwa penggunaan pestisida kimia sintetik berkontribusi secara substansial terhadap krisis kepunahan spesies dan degradasi ekosistem (Anakha, Mariya dan Jacob, 2024).

Pada level mikroorganisme, pestisida kimia sintetik menimbulkan gangguan fundamental terhadap keragaman genetik dan fungsional mikrobiota tanah. Sebuah studi komprehensif yang dipublikasikan dalam jurnal *Soil Biology and Biochemistry* (Rahmani et al., 2023) mengungkapkan bahwa paparan berkelanjutan pestisida dapat menurunkan keragaman mikroba tanah hingga 50-70%. Penurunan ini tidak sekadar bersifat kuantitatif, melainkan mengubah komposisi dan fungsi ekologis komunitas mikroorganisme, yang selanjutnya berdampak pada seluruh sistem ekologis.

Dampak pestisida terhadap serangga polinator merupakan salah satu perhatian utama dalam konteks biodiversitas. Penelitian jangka panjang yang dilakukan oleh Global Pollinator Research Network mencatat penurunan dramatis populasi lebah dan serangga penyerbuk lainnya di kawasan pertanian intensif. Data menunjukkan bahwa penggunaan pestisida neonikotinoid dapat menurunkan keragaman spesies lebah hingga 40% dalam periode lima tahun, dengan konsekuensi serius terhadap sistem reproduksi tumbuhan dan ketahanan ekosistem (Millard et al., 2021).

Dampak pestisida terhadap biodiversitas tidak terbatas pada area aplikasi langsung, melainkan meluas melalui jaringan ekologis yang kompleks. Studi yang dilakukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup mengidentifikasi fenomena bioakumulasi dan biomagnifikasi

residu pestisida pada berbagai level trofik. Konsentrasi residu yang terdeteksi pada konsumen puncak seperti burung pemangsa dan mamalia besar dapat mencapai 100-500 kali lipat dari konsentrasi awal (Zaller & Zaller, 2020).

Ekosistem perairan mengalami gangguan biodiversitas yang tidak kalah signifikan. Penelitian hidrobiologi di beberapa daerah aliran sungai menunjukkan bahwa residu pestisida dapat menurunkan keanekaragaman organisme akuatik hingga 60%. Dampaknya meliputi penurunan populasi ikan, invertebrata air, dan mikroorganisme yang memiliki peran kritis dalam keseimbangan ekosistem perairan (Jamhari et al., 2023).

Implikasi jangka panjang dari penurunan biodiversitas akibat pestisida kimia sintetik sangat kompleks. Hilangnya keragaman hayati tidak sekadar berarti berkurangnya jumlah spesies, melainkan menurunnya kemampuan ekosistem untuk melakukan adaptasi, regenerasi, dan mempertahankan keseimbangan dinamis. Kajian komprehensif mendesak dilakukannya transformasi paradigmatik dalam pendekatan pengendalian hama, dari intervensi kimia menuju strategi berbasis ekologi yang mempertimbangkan kesehatan keseluruhan sistem (Prashantkumar et al., 2024; Mira & Lieberman, 2024).

Pendekatan berkelanjutan menuntut integrasi pengetahuan ekologis dengan inovasi teknologis. Manajemen hama terpadu, pertanian organik, dan strategi konservasi biodiversitas menjadi alternatif yang perlu dikembangkan secara sistematis. Tujuannya tidak sekadar meminimalisasi penggunaan pestisida, melainkan merancang ulang sistem pertanian yang mampu berkontribusi positif terhadap pelestarian keanekaragaman hayati.

Kajian ini menegaskan bahwa pestisida kimia sintetik bukanlah sekadar instrumen teknis pengendalian hama, melainkan agen yang secara fundamental mampu mengubah arsitektur biodiversitas. Kesadaran akan kompleksitas dampaknya mendesak dilakukannya pendekatan holistik yang menempatkan pelestarian keanekaragaman hayati sebagai prioritas utama dalam sistem pertanian berkelanjutan.

Analisis komparatif pestisida kimia sintetik dan pengendalian alternatif ramah lingkungan

Analisis komparatif pestisida kimia sintetik dan pengendalian alternatif ramah lingkungan merupakan kajian kritis dalam upaya mengembangkan strategi pengendalian hama berkelanjutan. Kompleksitas perbandingan tidak sekadar terbatas pada efektivitas pengendalian hama, melainkan mencakup dampak lingkungan, keberlanjutan ekologis, serta implikasi ekonomi dan sosial. Penelitian mutakhir menunjukkan bahwa pengendalian alternatif ramah lingkungan memiliki potensi signifikan dalam menggantikan pestisida kimia sintetik.

Dari perspektif efektivitas pengendalian hama, pestisida kimia sintetik masih unggul dalam hal kecepatan dan spektrum pengendalian. Studi yang dipublikasikan dalam *Journal of Pest Management* (Indiati et al., 2017) menunjukkan bahwa pestisida sintetik mampu menurunkan populasi hama hingga 85-90% dalam waktu singkat. Sebaliknya, metode alternatif seperti pengendalian hayati dan pestisida nabati umumnya memerlukan waktu lebih panjang, dengan efektivitas berkisar 60-75% dalam mengendalikan populasi hama.

Keunggulan dan efektivitas pestisida kimia sintetik juga disertai dengan dampak negatif yang komprehensif. Penelitian membuktikan bahwa pengendalian alternatif yang ramah lingkungan, meskipun memiliki efektivitas relatif lebih rendah, tapi dapat memberikan keuntungan ekologis yang substansial. Contoh, pengendalian hayati menggunakan predator alami, tidak hanya mengendalikan hama target, melainkan juga menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Sebuah studi di kawasan pertanian organik menunjukkan peningkatan keanekaragaman hayati hingga 40% setelah mengimplementasikan strategi pengendalian hama terpadu (Baker et al., 2020).

Dari sisi biaya pengendalian, pestisida kimia sintetik memiliki biaya produksi dan aplikasi relatif rendah, dengan harga yang terjangkau bagi petani. Sebaliknya, pengendalian alternatif ramah lingkungan seperti agen pengendalian hayati dan pestisida nabati memiliki biaya produksi awal lebih tinggi (Durham & Mizik, 2021). Namun, kajian jangka panjang

Pathak, et al., (2022) mengungkapkan bahwa biaya eksternal seperti rehabilitasi ekosistem dan dampak kesehatan membuat pestisida kimia sintetik jauh lebih mahal dalam hitungan total.

Dari perspektif ekonomi, penggunaan pestisida kimia sintetik memiliki implikasi yang kompleks dan sering bertentangan. Di satu sisi, pestisida dapat meningkatkan hasil panen dengan mengendalikan hama dan penyakit tanaman, yang secara langsung berdampak pada produktivitas pertanian (Theresi et al., 2023). Namun, biaya eksternal seperti kerusakan lingkungan, dampak kesehatan, dan rehabilitasi ekosistem seringkali tidak diperhitungkan dalam analisis ekonomi tradisional.

Aspek kesehatan menjadi pertimbangan penting dalam analisis komparatif. Pestisida kimia sintetik secara konsisten berkaitan langsung dengan risiko kesehatan manusia, termasuk gangguan hormon, kerusakan sistem saraf, dan potensi karsinogenitas. Sebaliknya, pengendalian alternatif ramah lingkungan seperti pestisida nabati dan agen hayati menunjukkan profil keamanan yang jauh lebih baik. Penelitian epidemiologi di beberapa kawasan pertanian menunjukkan penurunan signifikan kejadian gangguan kesehatan setelah beralih ke metode pengendalian hama dan penyakit tanaman secara ramah lingkungan seperti penggunaan pestisida nabati dan pengendalian biologis lainnya.

Kemampuan adaptasi merupakan keunggulan lain dari pengendalian alternatif yang ramah lingkungan. Pestisida kimia sintetik cenderung menghadapi tantangan resistensi hama yang semakin meningkat, membutuhkan pengembangan formula kimia baru secara terus-menerus. Sebaliknya, pendekatan berbasis ekologi seperti pengendalian hayati dan pertanian terpadu mampu menciptakan mekanisme adaptasi dinamis yang berkelanjutan (Baker et al., 2020).

Dimensi teknologis dalam perbandingan pestisida menjadi arena pengembangan inovasi berkelanjutan. Teknologi nano dan bioteknologi saat ini mengeksplorasi pendekatan baru dalam pengendalian hama yang mampu menggabungkan efektivitas tinggi pestisida kimia sintetik dengan minimalisasi dampak lingkungan. Penelitian mutakhir menunjukkan potensi pengembangan pestisida biologis berbasis nanopartikel yang mampu meningkatkan target spesifisitas hingga 90%, sekaligus menurunkan risiko kontaminasi lingkungan secara signifikan (Yadav, dan Yadav, 2018).

Kerangka regulasi internasional memberikan perspektif komparatif yang kritis. Perjanjian internasional seperti Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) memberikan tekanan pada negara-negara untuk membatasi penggunaan pestisida berbahaya. Namun, implementasi di Indonesia masih menghadapi tantangan kompleks. Kajian yang dipublikasikan dalam *Global Environmental Policy Journal* (Susanti et al., 2024) menunjukkan kesenjangan signifikan antara komitmen internasional dan praktik regulasi nasional.

Tantangan utama dalam regulasi pestisida meliputi kompleksitas multidimensional. Selain aspek lingkungan dan kesehatan, regulasi harus mempertimbangkan dimensi sosial-ekonomi petani, kepentingan industri, dan kebutuhan produktivitas pertanian. Penelitian komparatif menunjukkan bahwa negara-negara maju seperti Uni Eropa telah mengembangkan sistem regulasi yang lebih komprehensif, dengan pendekatan pencegahan yang ketat dan mekanisme transisi yang sistematis.

Pendekatan interdisipliner mengungkapkan perlunya transformasi paradigma dalam manajemen hama dan pertanian. Konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT) mulai mendapatkan perhatian sebagai alternatif komprehensif yang mempertimbangkan aspek ekologi, ekonomi, dan sosial (Barzman et al., 2015). Strategi ini mengintegrasikan metode pengendalian biologis, kultur teknis, dan intervensi kimia secara selektif dan berkelanjutan.

Analisis komparatif menunjukkan bahwa transisi menuju pertanian berkelanjutan tidak hanya memerlukan inovasi teknologi, tetapi juga perubahan kebijakan, insentif ekonomi, dan transformasi pengetahuan sosial. Pendekatan agroekologis yang memadukan pengetahuan

ilmiah dengan praktik tradisional dianggap sebagai solusi yang menjanjikan untuk mengatasi kompleksitas tantangan di bidang pertanian.

KESIMPULAN

Hasil analisis ini mengidentifikasi bahwa penggunaan pestisida kimia sintetik tidak hanya sekadar intervensi teknis dalam produksi pertanian, melainkan merupakan praktik yang memiliki konsekuensi mendalam terhadap ekosistem, kesehatan manusia, dan sistem pertanian berkelanjutan. Temuan kunci menunjukkan adanya risiko signifikan terhadap keanekaragaman hayati, gangguan pada rantai makanan, akumulasi zat berbahaya, dan dampak jangka panjang yang belum sepenuhnya dipahami.

Posisi kritis pestisida kimia sintetik dalam paradigma pertanian berkelanjutan terletak pada ketidakseimbangan antara peningkatan produktivitas jangka pendek dan biaya ekologis jangka panjang. Penelitian ini menegaskan bahwa model pertanian yang bergantung pada input kimia sintetik tidak dapat dipertahankan, mengingat dampaknya terhadap kesehatan ekosistem, masyarakat pertanian, dan keseimbangan lingkungan. Pendekatan saat ini menunjukkan adanya keterbatasan mendasar dalam paradigma intensifikasi pertanian yang didominasi oleh pestisida kimia, yang pada gilirannya mengancam ketahanan pangan, biodiversitas, dan keberlanjutan sistem pertanian global.

REKOMENDASI

Rekomendasi praktis untuk transformasi penggunaan pestisida difokuskan pada adopsi pendekatan holistik dan berkelanjutan. Strategi utama meliputi: (1) Implementasi Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang mengintegrasikan metode biologis, kultur teknis, dan intervensi kimia selektif, (2) Pengembangan kapasitas petani melalui edukasi dan pelatihan tentang praktik pertanian ramah lingkungan, (3) Mendorong inovasi dalam pengembangan pestisida alternatif berbasis biologi dan bio-inspired, (4) Reformasi kebijakan yang memberikan insentif bagi praktik pertanian berkelanjutan dan membatasi penggunaan pestisida berbahaya, serta (5) Mendukung penelitian dan adopsi teknologi pertanian yang meminimalkan ketergantungan pada input kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajitha, D., & Mathew, L. 2022. Impact of Organochlorine Pesticides on Soil Microflora and Soil Fertility. In *Pesticides Bioremediation* (pp. 3-30). Cham: Springer International Publishing.
- Anakha, Mariya, Jacob. 2024. Betting on Biodiversity. Practice, progress, and proficiency in sustainability, 14-22. doi: 10.4018/979-8-3693-6950-0.ch002
- Ardiwinata, Asep & Ginoga, Lin & Sulaeman, Eman & Harsanti, Elisabeth. 2020. Pesticide Residue Monitoring on Agriculture in Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 12. 133. 10.21082/jsdl.v12n2.2018.133-144.
- Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. 2020. Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140, 104095.
- Balkrishna, A. (Ed.). 2021. *Sustainable Agriculture for Food Security: A Global Perspective*. CRC Press.
- Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A. N. E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., & Sattin, M. 2015. Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for sustainable development*, 35, 1199-1215.
- Durham, T. C., & Mizik, T. 2021. Comparative economics of conventional, organic, and alternative agricultural production systems. *Economies*, 9(2), 64.
- Goldstein, A., Fink, L., & Ravid, G. 2021. A framework for evaluating agricultural ontologies. *Sustainability*, 13(11), 6387.
- Indiati, Sri W., and Marwoto Marwoto. 2017. Penerapan Pengendalian Hama Terpadu (Pht) pada Tanaman Kedelai. *Buletin Palawija*, vol. 15, no. 2, 2017, pp. 87-100, doi:10.21082/bul palawija.v15n2.2017.p87-100.
- Jamhari, M. 2023. Analisis Kandungan Pestisida pada Ikan Air Tawar yang Ada di Desa Poly Kec. Tinombo Selatan dan Pemanfaatannya sebagai Media Pembelajaran. *Journal of Biology Science and Education*, 11(1), 17-22.

- Jan, S., Singh, R., Bhardwaj, R., Ahmad, P., & Kapoor, D. 2020. Plant growth regulators: a sustainable approach to combat pesticide toxicity. *3 Biotech*, 10(11), 466.
- Jouzi, Z., Azadi, H., Taheri, F., Zarafshani, K., Gebrehiwot, K., Van Passel, S., & Lebailly, P. 2017. Organic farming and small-scale farmers: Main opportunities and challenges. *Ecological economics*, 132, 144-154.
- Ledouble, H. 2020. Term circulation and conceptual instability in the mediation of science: Binary framing of the notions of biological versus chemical pesticides. *Discourse & Communication*, 14(5), 466-488.
- Millard, J., Outhwaite, C. L., Kinnersley, R., Freeman, R., Gregory, R. D., Adedija, O., ... & Newbold, T. 2021. Global effects of land-use intensity on local pollinator biodiversity. *Nature Communications*, 12(1), 2902.
- Mira, Lieberman. 2024. Assessing the impact of pesticides on natural capital and biodiversity. *Burleigh Dodds series in agricultural science*, 111-132. doi: 10.19103/as.2023.0128.11
- Oerke, E.C. 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43. doi:10.1017/S0021859605005708
- Pathak, V. M., Verma, V. K., Rawat, B. S., Kaur, B., Babu, N., Sharma, A., ... & Cunill, J. M. 2022. Current status of pesticide effects on environment, human health and it's eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in microbiology*, 13, 962619.
- Prashantkumar, B., Sathvara., J., Anuradha., Sandeep, Tripathi., R., Sanjeevi. 2024. Current Scenario of Biodiversity Loss Due to Developmental Activities. *Practice, progress, and proficiency in sustainability*, 50-69. doi: 10.4018/979-8-3693-6950-0.ch005.
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., ... & Wratten, S. 2018. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441-446.
- Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., & Kaushal, J. 2021. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of cleaner production*, 283, 124657.
- Serra AA, Bittebière AK, Mony C, Slimani K, Pallois F, Renault D, Couée I, Gouesbet G, Sulmon C. Local-scale dynamics of plant-pesticide interactions in a northern Brittany agricultural landscape. *Sci Total Environ*. 2020 Nov 20;744:140772. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140772. Epub 2020 Jul 16. PMID: 32711307.
- Smith, P., Soussana, J. F., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D. P., ... & Klumpp, K. 2020. How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, 26(1), 219-241.
- Susanti, W. I., Cholidah, S. N., & Agus, F. 2024. Agroecological Nutrient Management Strategy for Attaining Sustainable Rice Self-Sufficiency in Indonesia. *Sustainability*, 16(2), 845.
- Theresia, E. S., Alfiansyah, H., Ardikoesoema, N., Saputra, Y. A., & Gunandar, C. M. 2023. Instrumen pencegahan pencemaran lingkungan akibat pestisida. *Journal of Character and Environment*, 1(1).
- Tian, Z., Wang, J. W., Li, J., & Han, B. 2021. Designing future crops: challenges and strategies for sustainable agriculture. *The Plant Journal*, 105(5), 1165-1178.
- Yadav, A., Yadav, K. 2018. Nanoparticle-Based Plant Disease Management: Tools for Sustainable Agriculture. In: Abd-Elsalam, K., Prasad, R. (eds) *Nanobiotechnology Applications in Plant Protection. Nanotechnology in the Life Sciences*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91161-8_2.
- Zaller, J. G., & Zaller, J. G. 2020. Pesticide impacts on the environment and humans. *Daily poison: pesticides-an underestimated danger*, 127-221.