

SIMULASI POLA TANAM (AGROFORESTRI DENGAN PERKEBUNAN) UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIFITAS LAHAN DENGAN SISTEM PERMAKULTUR

Febri Afiantoro¹, Noordiana Herry Purwanti², Ila Purnamasari³

Institut Pertanian (Intan) Yogyakarta, Indonesia

febriafiantoro02@gmail.com

Abstract (English)

This study aims to develop an effective simulation method for designing cropping patterns to enhance productivity in permaculture systems. Through computational modeling using Sketchup and Andrewmarsh simulation, this research evaluates the simulation results and their practical implications for design. The study was conducted from March to July 2024 at Jalan Magelang Km 5.6 Kutu Tegal, Sinduadi, Mlati, Sleman, Yogyakarta. By simulating various cropping patterns, this research identifies optimal plant combinations and spatial arrangements that maximize sunlight utilization and growing space. The simulation results were then analyzed and validated in the field to assess their effectiveness in improving permaculture land productivity. Each cropping pattern exhibits unique characteristics in optimizing sunlight, growing space, and soil nutrients.

Article History

Submitted: 8 Mei 2025
Accepted: 11 Mei 2025
Published: 12 Mei 2025

Key Words

Permaculture, Plantation planting pattern simulation, Land productivity, Computational modeling.

Abstrak (Indonesia)

Penelitian berjudul simulasi pola tanam untuk meningkatkan produktivitas lahan dengan sistem permakultur bertujuan untuk mengembangkan metode simulasi desain pola tanam yang efektif dalam meningkatkan produktivitas lahan permakultur serta mengevaluasi hasil simulasi tersebut dan implikasi praktisnya dalam desain. Penelitian dilakukan dari bulan Maret sampai Juli 2024 di berlokasi Jalan Magelang Km 5.6 Kutu Tegal, Sinduadi, Mlati, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55284. Simulasi pola tanam dilakukan dengan menggunakan model komputasi *Sketchup* dan *Andrewmarsh simulation* dan dievaluasi berdasarkan pemanfaatan sinar matahari dan ruang tumbuh. Dengan menggunakan metode simulasi, ditemukan kombinasi tanaman yang tepat dengan metode simulasi pola tanam sistem permakultur. Hasil simulasi dianalisis dan dievaluasi di lahan untuk menentukan keberhasilan dalam meningkatkan produktivitas lahan permakultur. Setiap pola tanam memiliki karakteristik yang unik dalam memanfaatkan sinar matahari, ruang tumbuh, dan nutrisi tanah secara optimal.

Sejarah Artikel

Submitted: 8 Mei 2025
Accepted: 11 Mei 2025
Published: 12 Mei 2025

Kata Kunci

Sistem permakultur, Simulasi pola tanam perkebunan, Produktivitas lahan, Model komputasi

PENDAHULUAN

Sektor pertanian, termasuk di dalamnya bidang perkebunan, berperan besar dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat pedesaan. Perkebunan sebagai salah satu subsektor pertanian memberikan kontribusi penting terhadap pendapatan rumah tangga, ketersediaan pangan, dan stabilitas ekonomi lokal. Namun, produktivitas lahan perkebunan seringkali menghadapi tantangan seperti degradasi tanah, ketergantungan pada satu jenis tanaman (monokultur), dan risiko kegagalan panen akibat perubahan iklim. Oleh karena itu, strategi optimalisasi lahan perkebunan melalui inovasi sistem pola tanam menjadi sangat penting untuk mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian.

Salah satu pendekatan inovatif yang dapat diterapkan dalam perkebunan adalah penggunaan sistem permakultur dengan teknik *multicropping* atau *tumpangsari*. Sistem ini menggabungkan berbagai jenis tanaman dalam satu area untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan, memperbaiki kualitas tanah, serta mengurangi risiko gagal panen. Dengan penerapan simulasi pola tanam berbasis teknologi komputasi, petani dapat merancang kombinasi tanaman perkebunan secara optimal, memanfaatkan intensitas cahaya, ruang tumbuh, serta siklus panen yang saling mendukung. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas simulasi pola tanam dalam meningkatkan produktivitas lahan perkebunan berbasis sistem permakultur.

KAJIAN TEORI

Pola tanam merupakan susunan tanaman yang ditanam dalam satu lahan selama periode tertentu untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi lahan. Salah satu bentuk pola tanam yang relevan dalam pengelolaan lahan berkelanjutan adalah agroforestri, yaitu sistem kombinasi tanaman pertanian dan pepohonan dalam satu kesatuan lahan (Purwanti dan Taryono, 2018). Agroforestri membantu meningkatkan intensitas penggunaan lahan, pemanfaatan sumber daya tanah, dan efisiensi waktu tanam, sehingga mendukung peningkatan hasil panen dan keberlanjutan produksi pertanian (Raharja, 2005).

Dalam praktiknya, terdapat dua jenis pola tanam utama, yaitu monokultur dan polikultur. Pola tanam monokultur hanya menanam satu jenis tanaman pada satu lahan, memudahkan teknis budidaya namun rentan terhadap serangan hama dan penyakit (Setjanata, 1983). Sebaliknya, polikultur adalah sistem penanaman lebih dari satu jenis tanaman dalam satu area, yang tidak hanya memperbaiki keanekaragaman hayati, tetapi juga mengoptimalkan penggunaan lahan dan mengurangi risiko kegagalan panen (Sabirin, 2010).

Polikultur dapat diterapkan dalam berbagai bentuk, seperti tumpangsari, tumpang gilir, relay cropping, mixed cropping, dan sequential planting. Setiap bentuk ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi lahan, menekan pertumbuhan gulma, serta meningkatkan ketahanan terhadap serangan hama dan penyakit. Pemilihan kombinasi tanaman polikultur perlu mempertimbangkan faktor fisiologi tanaman, kebutuhan sinar matahari, kebutuhan unsur hara, dan sistem perakaran, agar sinergi antar tanaman dapat tercapai secara optimal (Dinas Ketahanan Pangan, 2020).

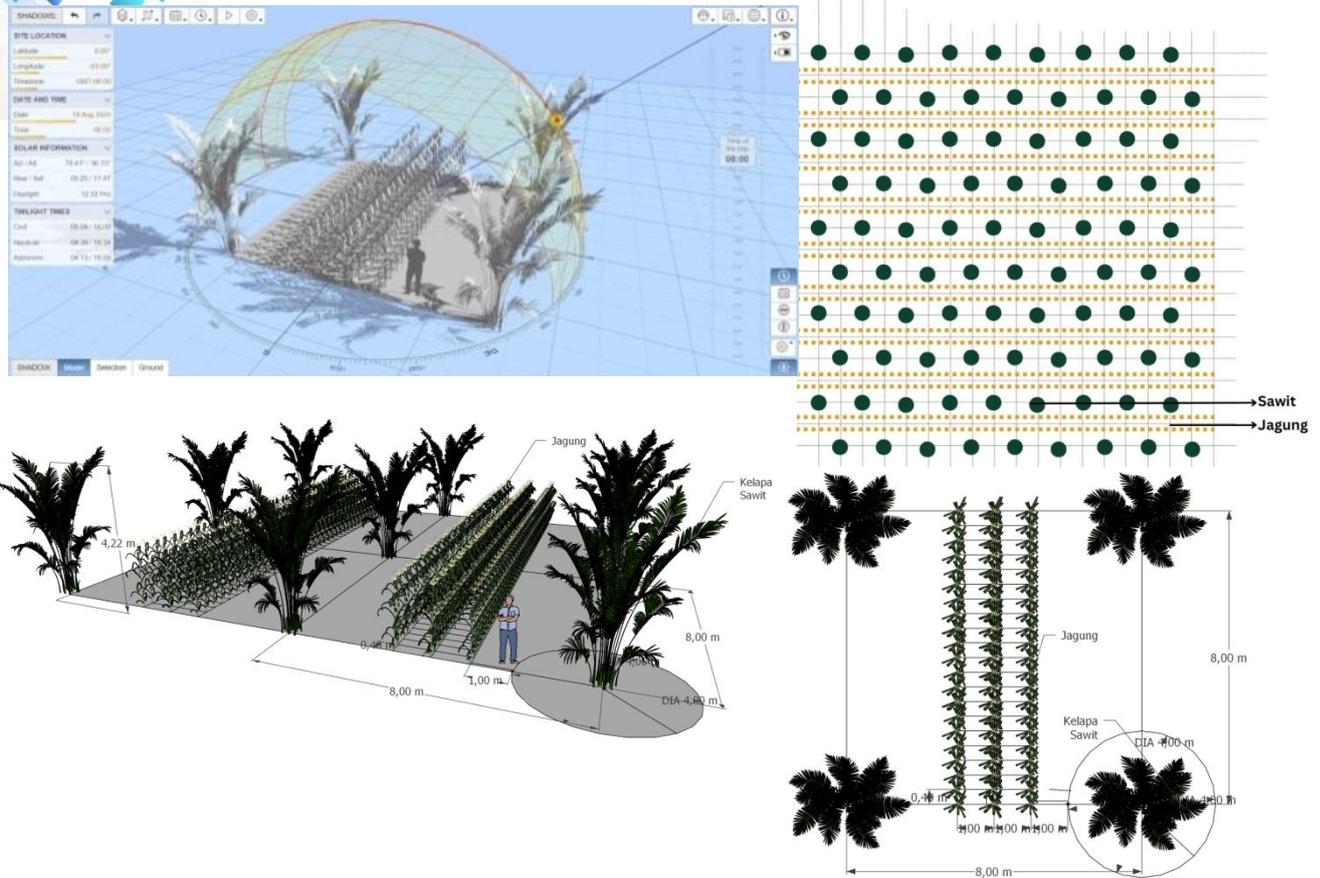
Salah satu sistem yang relevan dalam pengembangan pola tanam perkebunan berkelanjutan adalah permakultur. Permakultur merupakan desain ekologis yang meniru pola alami untuk menciptakan ekosistem pertanian yang mandiri dan berkelanjutan (Braun et al., 2019). Prinsip utama permakultur meliputi pengamatan alam, pengelolaan sumber daya secara efisien, peningkatan keanekaragaman hayati, dan sirkulasi nutrisi yang tertutup. Dengan penerapan sistem permakultur berbasis agroforestri, diharapkan pola tanam di lahan perkebunan dapat lebih produktif, efisien, dan tahan terhadap tekanan lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Maret hingga Juli 2024 di Jalan Magelang Km 5.6, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan menggunakan perangkat lunak SketchUp dan Andrewmarsh Simulation untuk melakukan simulasi pola tanam permakultur. Pelaksanaan penelitian meliputi studi literatur, pengembangan model simulasi, analisis hasil berdasarkan kebutuhan sinar matahari, tajuk tanaman, ketinggian tanaman, hingga masa panen. Kombinasi tanaman yang diuji meliputi tanaman pangan, hortikultura, perkebunan, dan agroforestri berdasarkan referensi dari berbagai penelitian terdahulu. Data yang digunakan berasal dari literatur terpercaya dan dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan fokus pada visualisasi geometri kombinasi pola tanam (3D & 2D), intensitas sinar matahari, dimensi tajuk dan perakaran tanaman, serta pengaturan siklus tanam dan panen untuk memperoleh desain pola tanam optimal dalam meningkatkan produktivitas lahan permakultur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Tanam 1 (Bersamaan Sawit dan Jagung)



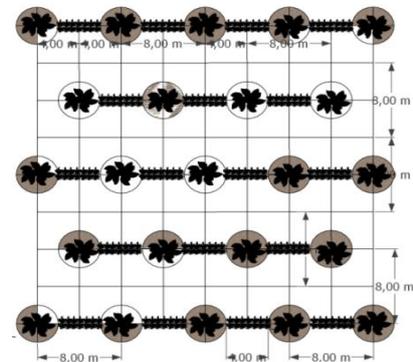
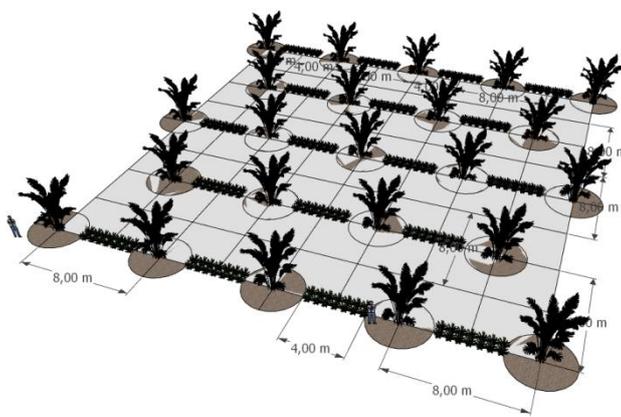
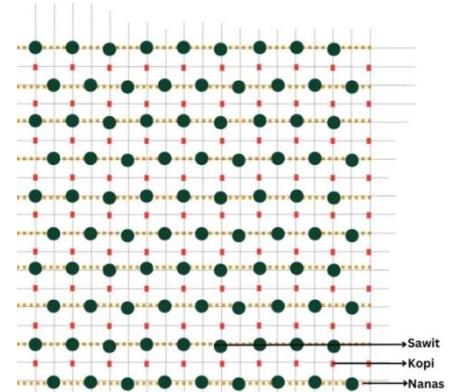
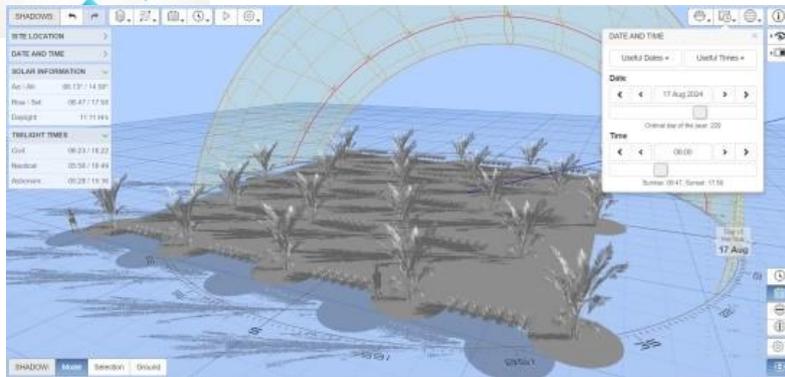
Pola tanam ini yaitu geometri kombinasi pola tanam antara jagung dan kelapa sawit. Tanaman kelapa sawit ditanam di lapangan setelah dibibitkan selama 9-12 bulan dan menjadi TBM (Tanaman belum menghasilkan) tahun ke-0.

Kelapa sawit di fase TBM siap di kombinasi dengan tanaman jagung. Fase TBM ini berlangsung selama kurang lebih 24-30 bulan. Setelah 30 bulan memasuki fase bunga, hingga buah siap panen memerlukan waktu sekitar 6 bulan. Pada umur (36 bulan) atau 3 tahun, kelapa sawit memasuki fase TM 1 (Tanaman Menghasilkan 1), TM 2 pada umur 4 tahun, TM 3 pada umur 5 tahun, dan seterusnya. Pengukuran tanaman dilakukan mulai dari pangkal batang hingga ujung daun tertinggi dengan menggunakan meteran, menunjukkan tinggi tanaman yang mencapai 4 meter pada fase TM 1. Pada fase TM 1, diameter tajuk atau piringan mencapai 4 meter Susilo (2021). Jarak tanam kelapa sawit umumnya Tintokardin (2022). 8x8 meter dengan diameter tajuk dengan diameter akar bervariasi: TM 1-8 memiliki diameter 2-3 meter, sedangkan TM 9-20 mencapai 6-8 meter Ma'ruf (2022).

Intensitas cahaya yang diterima antara 80-100% berdasarkan simulasi *Dynamic Shadows* pada pukul 08.00, 12.00 dan 16.00. Hasil simulasi *Dynamic Shadows* pola tanam 1 dapat di lihat pada gambar 3-5. Tanaman jagung ditanam dengan jarak tanam 100 cm x 40 cm, dengan diameter tajuk atau kanopi sekitar 50 cm Pada fase dewasa, dengan intensitas cahaya yang diperlukan antara 60-70% Marliah (2010). Penanaman jagung secara tumpangsari pada fase TM 1 kelapa sawit memanfaatkan ruang kosong antar jagung dan luar kanopi sawit adalah seluas satu meter dan penempatan tanaman jagung harus memperhatikan jarak tanam dan ruang antar tanaman untuk memastikan keduanya mendapatkan sinar matahari yang cukup dan tidak saling bersaing secara berlebihan untuk nutrisi dan ruang tumbuh. Penempatan tanaman jagung dalam sistem tanam tumpangsari dengan kelapa sawit harus memperhatikan jarak tanam dan

ruang antar tanaman untuk memastikan keduanya mendapatkan sinar matahari yang cukup dan tidak saling bersaing secara berlebihan untuk nutrisi dan ruang tumbuh.

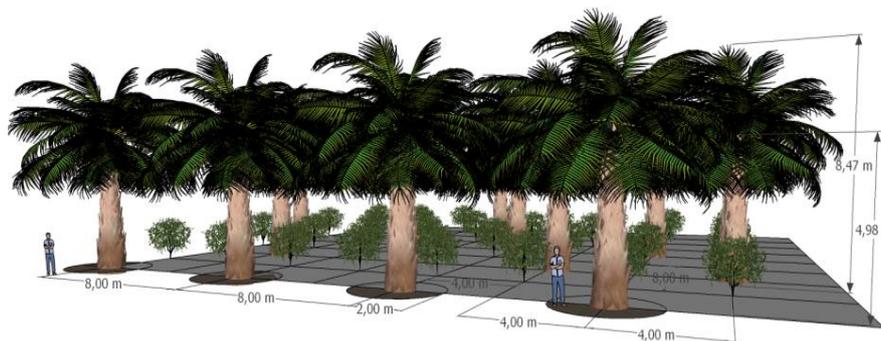
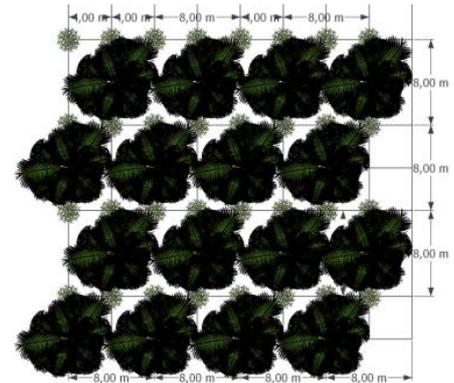
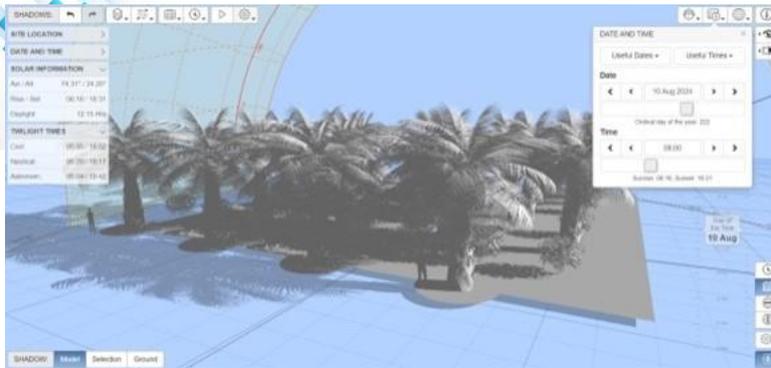
Pola Tanam (Berilir sawit TBM dan nanas)



Pada pola tanam 9 alternatif 1 nanas ditanam dalam fase sawit TBM di mana pelepahnya masih pendek sehingga tidak memberikan naungan yang signifikan. Menurut penelitian dari Susanto (2023), jarak tanam untuk sawit adalah 8-9 meter dengan diameter tajuk sekitar 6 meter dan intensitas cahaya yang dibutuhkan berkisar antara 60-100%. Sawit dalam fase TBM memiliki diameter akar sekitar 1-1,5 meter dan panjang akar yang dapat mencapai 2-3 meter.

Nanas ditanam dengan jarak 50 cm x 30 cm, memiliki diameter tajuk sekitar 1-2 meter dan membutuhkan intensitas cahaya sebesar 33-71% Suhartanto (2022). Nanas memiliki diameter akar sekitar 20-30 cm dan panjang akar yang dapat mencapai 40-50 cm. Nanas sangat cocok ditanam bersama sawit dalam fase TBM karena dapat tumbuh baik di bawah sinar matahari langsung yang masih tersedia di lahan tersebut.

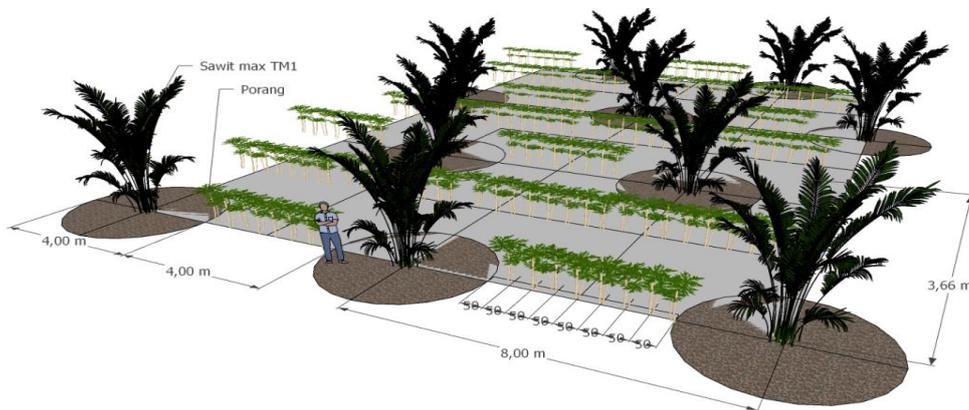
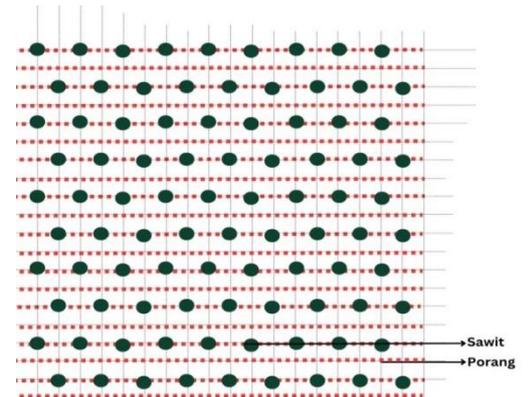
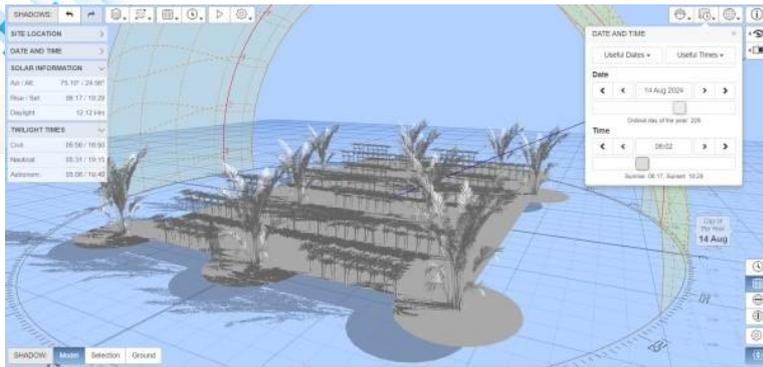
Pola Tanam Alternatif (Bergilir Sawit TM dan kopi)



Pada pola tanam 9 alternatif 2 fase sawit TM (Tanaman Menghasilkan) dimana pelepah sawit sudah mulai lebat dan menaungi sebagian lahan. Menurut penelitian dari Prasetyo (2022), jarak tanam yang tetap sama dengan alternatif pertama, yaitu 8-9 meter, dengan diameter tajuk yang juga sekitar 6 meter. Intensitas cahaya yang dibutuhkan masih berkisar antara 60-100%. Sawit dalam fase TM memiliki diameter akar yang serupa dengan fase TBM Prasetyo (2022). Kopi ditanam dengan jarak 2 m x 2,5 m, memiliki diameter tajuk sekitar 3 meter dan membutuhkan intensitas cahaya sebesar 60-80%. Kopi memiliki diameter akar sekitar 50 cm dan panjang akar yang dapat mencapai 1-1,5 meter. Kopi cocok ditanam di sela-sela tanaman sawit yang sudah tumbuh besar dan tinggi dalam fase TM, karena dapat memanfaatkan sinar matahari yang tersedia di antara pepohonan sawit yang rapat.

Kombinasi pola tanam ini dirancang untuk memastikan setiap tanaman menerima cukup sinar matahari dan nutrisi tanpa saling bersaing secara berlebihan. Sawit memberikan struktur dan naungan yang baik bagi kopi dan sebagian lahan, sementara kopi, dengan kebutuhan intensitas cahaya yang lebih tinggi, ditempatkan di antara tanaman sawit yang sudah tumbuh lebat. Nanas, dengan kebutuhan cahaya yang lebih rendah, cocok ditanam di bawah naungan sawit pada fase TBM. Kombinasi ini memungkinkan setiap tanaman tumbuh optimal dengan pemanfaatan ruang dan nutrisi yang efisien.

Pola Tanam (Sawit TBM dan Porang)



Pola tanam 10 mencakup kombinasi penanaman sawit dan porang. Menurut penelitian dari Sutrisno (2023), jarak tanam untuk sawit adalah 8 meter dengan diameter tajuk sekitar 6 meter dan intensitas cahaya yang dibutuhkan berkisar antara 60-100%. Sawit memiliki diameter akar sekitar 1-1,5 meter dan panjang akar yang mencapai 2-3 meter Sutrisno (2023).

Porang ditanam dengan jarak 40 cm x 40 cm, memiliki diameter tajuk sekitar 1-2 meter dan membutuhkan intensitas cahaya sebesar 60-80% Anturida (2015). Porang memiliki sistem akar yang sangat dalam dan kuat, mencapai kedalaman hingga 2-3 meter. Kombinasi pola tanam ini dirancang untuk memastikan setiap tanaman mendapatkan sinar matahari yang cukup dan memaksimalkan penggunaan lahan. Sawit memberikan struktur naungan yang baik bagi porang, sementara porang, dengan sistem akar yang dalam, dapat tumbuh bersama sawit tanpa bersaing secara berlebihan. Sawit sebagai tanaman utama memberikan nilai ekonomis jangka panjang, sementara porang memberikan manfaat tambahan sebagai tanaman sampingan yang dapat memperbaiki struktur tanah dan memberikan nilai ekonomis. Dapat di liat table 4 hasil ringkasan penelitian pola 1 haingga pola 10.

KESIMPULAN

Melalui penggunaan metode simulasi, penelitian ini berhasil menemukan kombinasi tanaman yang tepat dalam pola tanam sistem permakultur yang dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan. Simulasi ini memungkinkan identifikasi pola yang paling efektif untuk meningkatkan produktivitas lahan, dengan memperhatikan berbagai faktor penting seperti kebutuhan sinar matahari, ruang tumbuh, dan nutrisi tanah. Evaluasi hasil simulasi di lapangan menunjukkan bahwa pola tanam yang diterapkan mampu memberikan dampak positif terhadap efisiensi produksi, baik dari sisi hasil pertanian maupun dari sisi keberlanjutan ekosistem.

Setiap pola tanam yang diterapkan dalam sistem permakultur memiliki karakteristik yang unik, yang memungkinkan tanaman untuk memanfaatkan sinar matahari, ruang tumbuh,

dan nutrisi tanah secara optimal. Keberagaman ini menciptakan kondisi yang ideal untuk pertumbuhan tanaman, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan lahan secara keseluruhan. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk mengembangkan sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan dan produktif, serta mendorong penerapan pola tanam yang mendukung keberlanjutan jangka panjang di berbagai jenis lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariesa Y, Khairani R, Ekonomi F, Indonesia UP, Pertanian P.(2019). *Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Ketahanan*. 2(1): 18.
- Atriawardhani, I., & Kohdrata, N. (2020). Perencanaan lanskap Villa Cloud Nine Estate dengan pendekatan permakultur di Kecamatan Tegallalang, Kabupaten Gianyar, Bali. *Jurnal Arsitektur Lansekap*, 6(1).
- Braun, G., Braun, M., Kruse, J., Amelung, W., Renaud, F. G., Khoi, C. M., ... Sebesvari, Z. (2019). Pesticides and antibiotics in permanent rice, alternating rice-shrimp and permanent shrimp systems of the coastal Mekong Delta, Vietnam. *Environment International*, 127, 442–451.
- Chandrasekaran, B., K. Annadurai, and E. Somasundaram.(2010). *A Textbook of Agronomy*. New Delhi: New Age International.
- Didarali, Z., & Gambiza, J. (2019). Permaculture: Challenges and benefits in improving rural livelihoods in South Africa and Zimbabwe. *Sustainability*, 11(8), 22.
- Epule, T. E., J. D. Ford, S. Lwasa, B. Nabaasa, and A. Buyinza. 2018. “The Determinants of Crop Yields in Uganda: What Is the Role of Climatic and Non-Climatic Factors” *Agriculture and Food Security* 7 (10): 1–17.
- Evizal, R. (2014). *Dasar-Dasar Produksi Perkebunan*. Yogyakarta: Graha Ilmu. ———. 2020. “Review Etnoagronomi Perladangan Pangan Di Indonesia.” *Jurnal Agrotropika* 19 (1): 1–10.
- Evizal, R., and F. E. Prasmatiwi.(2020). “Farmers’ Perception to Climate Change and Adaptation to Sustain Black Pepper Production in North Lampung, Indonesia.” In *Proc Ulicoste*, 7. Bandar Lampung: Universitas Lampung
- Gondo, Y. H., Hardiyati, H., & Handayani, K. N. (2017). Strategi Perancangan Sekolah Alam Smk Pertanian Dengan Pendekatan Sistem Permakultur Di Purbalingga. *Arsitektura, KOMUNITA: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, Vol. 2, No.1 Februari 2023 |117 15(1), 316–324.
- Holmgren, David. (2002). *Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability*. Chelsea Green Publishing.
- [Kiman Siregar](#) (2017) *,Simulasi dan Pemodelan (Aplikasi Untuk Keteknikan Pertanian)* November ,penerbitbukudeepublish,ISBN: 978-602-453-018-,[Syiah Kuala University](#).
- Krisdianto, S., Anshari, P., & Susilawati, I. O. (2020). Permaculture, Upaya Meningkatkan Pendapatan Pentani Kecil. *Prosiding seminar nasional lingkungan lahan basah*, 5(2), 17–20.
- Liliane, T. N., and M. S. Charles. (2020). “Factors Affecting Yield of Crops.” In *Agronomy - Climate Change and Food Security*, edited by Amanullah, 1–16. IntechOpen.
- Lowder SK, Knowles M, Croppenstedt A. (2018). Social protection and agriculture: Introduction to the special issue. *Global Food Security*. 16:65-68.
- Misni, A., Zaki, M. A. M., & Latif, F. A. A. (2014). Pendekatan permakultur bagi mewujudkan gunatanah pertanian lestari di Malaysia: Kajian kes di Kuala Ping, Terengganu. *Geografia: Malaysian Journal of Society and Space*, 10(6), 105–117.
- Nurjati Eka. (2023). *Strategy Development in Fulfilling Food Consumption of Permaculture Foundation Members* *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, Juli 2023 Vol. 28 (3)

- Purwanti, N.H dan Taryono (2018) *The Growth of Tiwai (Eleutherine Americana L. Merr.) under Different Forest Tree Stands in Agroforestry System. Agrinova: Journal of Agriculture Inovation Voluem 1 (2), 2018, 056-060 (PIAT UGM)*
- Prasetyo, (2022). "Pola Tanam Sawit TM dan Kopi dalam Sistem Agroforestri: Studi Permana, S.N. 2007. Faktor-faktor Internal dan Eksternal yang Mempengaruhi Petani dalam Memilih Pola Tanam Yang Menguntungkan. Wawasan TRIDHARMA No. 2 Tahun XX September 2007.
- Raharja dan Wiryanto, W. (2005). Diktat Dasar-dasar Agronomi. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Santoso, (2023). "Pola Tanam Tumpangsari Jagung, Padi Gogo, dan Kedelai untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Pertanian." *Jurnal Pangan dan Gizi*, 18(2), 150-162.
- Sabirin. (2010). Modul Sekolah Lapang Polikultur. BITRA Indonesia. Medan.
- Susilo, (2021). "Optimalisasi Pola Tanam Tumpangsari Jagung dan Kelapa Sawit: Studi Kasus di Jawa Barat." *Jurnal Pertanian Tropis*, 10(2), 123-135.
- Setiawan, (2022). "Penerapan Pola Tanam Tumpangsari Berbasis Jagung, Kacang Tanah, dan Kacang Hijau di Lahan Kering." *Jurnal Ilmu Pertanian*, 15(1), 45-56.
- Subagio, (2021). "Implementasi Pola Tanam Tumpangsari Kapulaga, Pinus, dan Kopi untuk Mendukung Agroforestri Berkelanjutan." *Jurnal Agroforestri*, 8(3), 210-222.
- Subagio, (2021). "Strategi Pola Tanam Tumpangsari Sengon, Talas, Singkong, dan Pisang untuk Peningkatan Produktivitas Lahan." *Jurnal Agronomi Indonesia*, 6(2), 78-89.
- Setiawan, (2022). "Pola Tanam Tumpangsari Antara Sayuran dan Eucalyptus untuk Pengelolaan Lahan yang Berkelanjutan." *Jurnal Hortikultura*, 20(4), 315-327.
- Subagio, (2021). "Integrasi Pola Tanam Tumpangsari Karet dan Pepaya untuk Pemanfaatan Lahan yang Optimal." *Jurnal Karet Indonesia*, 12(1), 50-62.
- Subagio, 2021. "Pemanfaatan Pola Tanam Tumpangsari Jagung, Daun Bawang, Kacang Panjang, dan Pinang Merah dalam Agroforestri" *Jurnal Agroekoteknologi*, 5(3), 180-192.
- Susanto. (2023). "Strategi Pola Tanam Bergilir Sawit TBM dan Nanas untuk Pengelolaan Lahan Pertanian." *Jurnal Agronomi Tropis*, 12(1), 30-42.
- Syarif (2018) "Pola Tanam Dalam Area GP3A (Gabungan Perkumpulan Petani Pemakai Air) Paraikatte Daerah Irigasi Kampili Kabupaten Gowa, digilibadmin.unismuh.ac.id
- Suarnawati, S., & Dahliani, D. (2022). Pusat Edukasi Sungai Karang Mumus. *Lanting Journal Of Architecture*, 11(2), 246–259.
- Sutrisno, (2023). "Implementasi Pola Tanam Tumpangsari Sawit dan Porang untuk Peningkatan Produktivitas Lahan." *Jurnal Perkebunan*, 15(4), 300-312