

GEJALA PRODUKTIVITAS RENDAH DAN PERTANIAN DEGENERATIF

Symptoms of Low Yield and Degenerative Agriculture

Rusdi Evizal^{1*} dan Fembriarti Erry Prasmatiwi²

¹Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

²Jurusan Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

Jl. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedung Meneng, Bandar Lampung 35145

*E-mail korespondensi: rusdi.evizal@fp.unila.ac.id

ABSTRAK

Agronomi mengkaji konsep-konsep produksi pertanian yang kompleks seperti Sustainable Agriculture, Good Agriculture Practices, Regenerative Agriculture menjadi teknologi praktis terbaik (good practices) yang mampu diterapkan petani. Variabel agronomi yang penting dalam budidaya pertanian antara lain adalah produksi dan produktivitas. Produktivitas tanaman dipengaruhi oleh banyak faktor yang saling berinteraksi. Tulisan ini bertujuan untuk mengkaji gejala penurunan produktivitas dan gejala pertanian degeneratif. Penurunan produksi dan produktivitas yang terus berlangsung dalam jangka panjang mengindikasikan pengelolaan agroekosistem yang bersifat degeneratif. Pertanian degeneratif adalah praktik pertanian yang menyebabkan produktivitas yang terus menurun sebagai akibat dari penurunan daya dukung agroekosistem, baik tanah, tanaman dan flora lainnya, fauna, mikrobia, iklim dan sosial. Penurunan daya dukung tanah antara lain ditunjukkan oleh degradasi lahan, penurunan keragaman dan aktivitas organisme tanah, penurunan kandungan bahan organik dan ketersediaan unsur hara dalam tanah akibat pengurusan hara terangkut panen, erosi dan praktik budidaya yang kurang tepat. Selain itu akan didiskusikan faktor-faktor pendorong agroekosistem degeneratif yang bersifat saling berinteraksi. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah degradasi lahan, penurunan biodiversitas, penanaman varietas dan jenis tanaman yang terus-menerus, penggunaan masukan bahan kimia intensif, serangan hama dan penyakit, serta perubahan iklim. Upaya mitigasi faktor-faktor tersebut berarti memilih jalan menuju pertanian regeneratif.

Kata kunci: Agroekosistem, biodiversitas, degeneratif, berkelanjutan, regeneratif, produktivitas

ABSTRACT

Agronomy examines complex agricultural production concepts such as Sustainable Agriculture, Good Agricultural Practices, Regenerative Agriculture into the best practical technologies that farmers can apply. Important agronomic variables in agricultural cultivation include production and productivity. Plant productivity is influenced by many interacting factors. This paper aims to examine the symptoms of decreased productivity and symptoms of degenerative agriculture. The decline in production and productivity that continues in the long term indicates a degenerative agro-ecosystem. Degenerative agriculture is an agricultural practice that causes productivity to continue to decline as a result of a decrease in the carrying capacity of agro-ecosystems, including soil, plants and other flora, fauna, microbes, climate and society. The decrease in the carrying capacity of the soil is shown, among others, by land degradation, a decrease in soil organism diversity and activity, declining of organic matter content and the availability of nutrients in the soil due to nutrient depletion transported by harvest, erosion and inappropriate cultivation practices. In addition, it will discuss the factors driving the degenerative agroecosystem that interact with each other. These factors include land degradation, decreased biodiversity, continuous planting of varieties and species of plants, use of chemical inputs,

pest and disease attacks, and climate change. Mitigating these factors means choosing a path to regenerative agriculture.

Key words : *Agroecosystem, biodiversity, degenerative, sustainable, regenerative, productivity*

PENDAHULUAN

Agronomi didefinisikan sebagai cabang ilmu pertanian yang berhubungan dengan prinsip dan praktik produksi tanaman di suatu dan pengelolaan tanah untuk produktivitas yang lebih tinggi (Chandrasekaran et al., 2010). Prinsip dan praktik agronomi yang terbaik terus dikembangkan seperti pada *Good Agriculture Practices* dan sistem pertanian berkelanjutan (Caliman et al. 2005), pengaturan penanaman dan pertanaman (*crop establishment*) pada System of Rice Intensification (SRI) dan sistem Jajar Legowo, serta sistem pertanian regeneratif.

Variabel agronomi yang penting dalam budidaya pertanian antara lain adalah produksi dan produktivitas. Produksi tanaman di suatu lahan diekspesikan sebagai bobot (kg, ton) yang dipanen dalam satu tahun atau musim tertentu. Produksi merupakan hasil pekalian luas lahan panen x produktivitas. Produktivitas atau hasil (yield) merupakan total produksi per sumberdaya yang digunakan ($\text{yield} = \text{production}/\text{resource}$) yang secara sederhana diekspesikan sebagai bobot yang dipanen per satuan luas per satuan waktu ($\text{ton}/\text{ha}/\text{tahun}$). Produksi dapat ditingkatkan dengan cara peningkatan luas panen (ekstensifikasi) dan atau peningkatan produktivitas (intensifikasi) (Marita et al. 2021).

Produktivitas tanaman merupakan salah satu indikator pertanian berkelanjutan yaitu pada pilar “*economically viable* atau secara ekonomi menguntungkan” (Evizal and Prasmatiwi 2021). Pertanian berkelanjutan didefinisikan sebagai keberhasilan pengelolaan sumber daya pertanian untuk memenuhi perubahan kebutuhan manusia dengan tetap memelihara atau meningkatkan kualitas lingkungan dan melestarikan sumber daya

alam. Konsep dan bentuk pertanian berkelanjutan antara lain adalah *ecofarming*, *organic farming*, *alternative farming*, dan pertanian regeneratif (Chandrasekaran et al., 2010). Pertanian intensif didasarkan pada penggunaan input energi tinggi dan bahan tanam berkualitas dengan irigasi yang terjamin, tetapi gagal menjamin keberlanjutan pertanian karena terciptanya ketidakseimbangan ekologis dan degradasi sumber daya alam (Maitra et al. 2021).

Pertanian regeneratif (RA, *regenerative agriculture*) merupakan frasa terbaru dari konsep pertanian berkelanjutan (SA, *sustainable agriculture*). Ide awal konsep ini telah muncul pada tahun 80-an namun sangat banyak dibahas sejak tahun 2016, terutama karena banyak diadopsi oleh NGO (Non-Government Organization, korporasi, dan yayasan (Ikerd 2021; Giller et al. 2021). Prinsip dasar konsep ini mencakup prinsip pertanian konservasi, pertanian terintegrasi, restorasi kesehatan tanah, dan rekarbonisasi biosfer terestrial (Lal 2020).

Konsep pertanian regeneratif melampaui pertanian berkelanjutan. Pertanian berkelanjutan ditujukan untuk mempertahankan tingkat fungsi ekosistem yang diinginkan atau ditingkatkan, sedangkan pertanian regeneratif bertujuan untuk meregenerasi, memperbaharui, dan lebih lanjut meningkatkan fungsi tanah dan kemampuan ekosistem dalam proses yang terus meningkat (Sanyal and Wolthuizen 2021).

Isu penting lain yang banyak dibahas adalah produktivitas potensial versus produktivitas aktual yang dicapai petani. Produktivitas potensial adalah hasil ekonomi maksimum yang mungkin untuk tanaman dari satu unit luas lahan, ketika semua faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman tersedia tanpa kendala. Dengan kata lain

produktivitas potensial adalah kemungkinan hasil maksimum yang dapat diperoleh dalam kondisi terkendali (Chandrasekaran et al., 2010). Silva et al (2022) merinci gap produktivitas adalah akibat gap teknologi, sumberdaya, dan efisiensi.

Terdapat berbagai kendala agronomis dan sosial ekonomi sehingga terjadi gap produktivitas yang cukup besar antara potensial dan aktual. Untuk menurunkan gap hasil, maka produktivitas perlu ditingkatkan dengan cara peningkatan input (Lobell, Cassman, and Field 2009) atau melakukan intensifikasi (Woittiez et al. 2017) seperti peningkatan penggunaan pupuk (Silva et al. 2022) dan peningkatan teknologi (Najafi et al. 2018) seperti penggunaan varietas unggul baru, pupuk dan irigasi.

PRODUKTIVITAS RENDAH

Produktivitas tanaman dipengaruhi oleh banyak faktor yang saling berinteraksi yaitu faktor genetik tanaman, lingkungan baik biotik-abiotik maupun klimatikonklimatik (Epule et al. 2018) seperti iklim, cuaca, kelas lahan, hama dan penyakit, serta sosial dan teknis (sociotechnical) (Bahadur et al. 2020; Liliane and Charles 2020). Kompleksitas faktor-faktor tersebut menyebabkan pencapaian produksi, produktivitas, dan kualitas menjadi tidak mudah bagi praktisi lapangan.

Standar atau target produktivitas dapat ditentukan berdasarkan kelas kesesuaian lahan dan potensi produksi (Evizal 2014). Misalnya menurut metode LECS, kesesuaian lahan dibagi menjadi 5 klas yaitu klas S1 dengan produktivitas 80-100%, klas S2 = 60-80%, klas S3 = 40-60%, klas S4 = 20-40%, dan klas N <20% dari potensi produktivitas aktual. Secara kualitatif, umumnya klasifikasi produktivitas tersebut dapat dibagi menjadi sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah dengan basis produktivitas rata-rata.

Klasifikasi produktivitas secara simpel dapat dibagi menjadi dua saja yaitu produktivitas yang tinggi jika lebih besar

daripada produktivitas (hasil) lapangan rata-rata, dan produktivitas yang rendah jika hasil lebih rendah daripada produktivitas (hasil) lapangan rata-rata. Selain itu perlu dipertimbangkan stabilitas hasil yang ditunjukkan oleh nilai koefisien variasi (CV) atau nilai standar deviasi (SD) seperti yang disarankan oleh Dobermann et al (2003) sebagai berikut. Berdasarkan nilai produktivitas rata-rata dan CV, produktivitas diklasifikasi menjadi 3 yaitu (1) produktivitas tinggi dan stabil (hasil \geq hasil lapangan rata-rata, CV <30%), (2) produktivitas rendah dan tidak stabil (hasil < hasil lapangan rata-rata, CV <30%), dan (3) produktivitas tidak stabil (CV >30%). Berdasarkan nilai produktivitas rata-rata dan SD, produktivitas dapat diklasifikasi menjadi 3 yaitu (1) produktivitas tinggi dan stabil (hasil \geq hasil lapangan rata-rata, SD \leq SD rata-rata), (2) produktivitas rendah dan tidak stabil (hasil < hasil lapangan rata-rata, SD \leq SD rata-rata), dan (3) produktivitas tidak stabil (SD > SD rata-rata). Jika diklasifikasi menjadi 4 maka klas (1) produktivitas tinggi dan stabil (hasil > 66% hasil lapangan rata-rata, SD \leq 66%), (2) produktivitas medium dan stabil (hasil 33-66% hasil lapangan rata-rata, SD \leq 66%), produktivitas rendah dan stabil (hasil <33%, SD \leq 66%) dan (4) produktivitas tidak stabil (SD >66%).

Capaian produksi dan produktivitas dapat berskala luasan lahan, wilayah, maupun nasional yang menunjukkan nilai rata-rata atau angka statistik. Karena angka rata-rata maka dapat ditemukan angka produktivitas yang sangat rendah dan produktivitas yang sangat tinggi. Produktivitas yang rendah berarti efisiensi penggunaan sumberdaya yang rendah dan biaya produksi yang tinggi. Produksi dan produktivitas yang rendah menunjukkan performa capaian yang tidak sesuai dengan standar atau target. Penurunan produksi dan produktivitas yang terus berlangsung dalam jangka panjang mengindikasikan pengelolaan agroekosistem yang bersifat degeneratif.

PERTANIAN DEGENERATIF

Produktivitas aktual bersifat dinamis terutama akibat pengaruh lingkungan seperti cuaca dan input saprodi. Jika dianalisis secara kronologis waktu, isu lainnya yang menarik para pihak adalah *trend* penurunan produksi dan produktivitas. Isu penurunan produktivitas bertolak belakang dengan berbagai konsep pertanian berkelanjutan dan pertanian regeneratif. Untuk meningkatkan dan mempertahankan produktivitas agar tidak menurun maka perlu diberikan jumlah input yang terus meningkat seperti pengolahan tanah, penggunaan air, pupuk dan pestisida (Rhodes 2017) yang dapat merusak lingkungan sehingga perlu dilakukan optimasi (Seleiman and Hafez 2021).

Pertanian degeneratif adalah praktik pertanian yang menyebabkan produktivitas yang terus menurun sebagai akibat dari penurunan daya dukung agroekosistem baik tanah, tanaman dan flora lainnya, fauna, mikrobia, iklim dan sosial. Penurunan daya dukung tanah antara lain ditunjukkan oleh degradasi lahan, penurunan kandungan bahan organik dan ketersediaan unsur hara dalam tanah akibat pengurasan hara terangkut panen, erosi dan praktik budidaya yang kurang tepat (Tan et al. 2005). Aplikasi pupuk anorganik dan pestisida yang berlebihan akan berdampak pada mikrobia tanah (Prashar and Shah 2016), meso dan makro fauna tanah (Zulu et al. 2022).

Degradasi lahan menyebabkan penurunan produktivitas dan luas pertanaman. Misalnya pada budidaya kentang yang intensif dan mengeksploitasi lahan yang miring menyebabkan erosi yang tinggi dan kerusakan lahan yang berat seperti dilaporkan Arifin et al. (2017) dan Sudibyakto et al. (2002).

Penurunan daya dukung tanaman ditunjukkan oleh rendahnya produktivitas dan tingginya kehilangan hasil akibat investasi hama dan penyakit tanaman. Hal ini antara lain karena penggunaan varietas atau klon yang sama secara terus-menerus

dan perubahan iklim. Syahri dan Somantri (2016) melaporkan bahwa patogen terindikasi berubah menjadi lebih virulen sehingga makin memperparah kerusakan tanaman dan menurunkan produktivitas. Setelah ditanam beberapa periode, klon dan varietas unggul yang tahan hama dan penyakit tertentu berubah menjadi rentan. Sacristan dan Garcia-Arenal (2008) berpendapat bahwa peningkatan virulensi hama dan penyakit dapat disebabkan oleh adaptasi hama dan patogen terhadap tanaman inang maupun pengaruh lingkungan yang menjadi lebih sesuai bagi perkembangan hama dan penyakit.

Raven dan Wagner (2021) melaporkan pertanian intensif yang ditandai dengan budidaya monokultur serta aplikasi pupuk dan pestisida yang terus meningkat dan perubahan iklim menurunkan keragaman serangga. Di antaranya adalah serangga yang bermanfaat sebagai polinator tanaman, predator atau musuh alami hama. Deguines et al. (2014) melaporkan bahwa intensifikasi gagal meningkatkan hasil tanaman yang bergantung pada penyerbuk dan menurunkan stabilitas hasil mereka dari waktu ke waktu. Hal ini menunjukkan bahwa manfaat dari intensifikasi pertanian diikuti dengan pengurangan jasa penyerbukan, sehingga diperlukan intensifikasi pertanian secara ekologi melalui optimalisasi jasa ekosistem.

Pada pertanian degeneratif terjadi pengurasan yang terus-menerus sumberdaya alam. Loring (2022) berpendapat bahwa rezim degeneratif terjadi apabila terlalu fokus pada satu atau beberapa sumber daya meskipun ada keragaman pilihan, yang menyebabkan penipisan serial sumber daya. Sebagai contoh adalah penangkapan ikan secara intensif atau berlebihan (*overfishing*), pengembalaan ternak yang berlebihan (*overgrazing*), dan perladangan berpindah dengan siklus singkat. Evizal (2020) berpendapat bahwa perladangan berpindah bersifat tidak intensif, dengan siklus waktu yang panjang berkemampuan regeneratif artinya kesuburan tanah akan pulih kembali

seiring dengan suksesi vegetasi. Sebaliknya menurut Sial et al (2021), eksploitasi sumber daya alam yang tidak bijaksana, miskin pemeliharaan kesehatan tanah membuat praktik pertanian intensif seperti itu tidak berkelanjutan akibat degradasi lahan dan lingkungan.

Perubahan iklim berpengaruh terhadap gejala agroekosistem degeneratif melalui penurunan kesesuaian lahan bagi suatu tanaman, cuaca ekstrem, serta meningkatnya keterjadian hama dan penyakit. Penurunan produktivitas akibat penurunan kesesuaian lahan perkebunan kopi dan tekanan hama-penyakit sebagai dampak perubahan iklim dilaporkan antara lain oleh Tavares et al. (2018) serta Magrach dan Ghazoul (2015).

Wagner et al (2021) dan Evizal et al (2020) melaporkan pengaruh cuaca yang ekstrem basah atau ekstrem kering yang dapat menurunkan produktivitas kopi. Martin et al. (2018), Evizal dan Prasmatiwi et al. (2020b), dan Camargo (2010) berpendapat bahwa adaptasi terhadap perubahan iklim terutama dilakukan dengan cara pengembangan genetik yang tahan atau toleran perubahan iklim serta pengembangan agroteknologi.

Gejala penurunan produktivitas dapat terjadi pada tanaman semusim yang ditanam terus-menerus misalnya pada pertanaman padi (Dobermann et al. 2000) dan tanaman singkong (Howeler 2014). Pada lahan yang miring penanaman jagung secara terus-menerus menurunkan C organik, N total, P tersedia, K dan Ca dapat ditukar. Penurunan produktivitas terjadi seiring dengan penurunan C organik tanah (Fujisao et al. 2020).

Penurunan produktivitas pada perkebunan tebu monokultur disebabkan banyak faktor seperti terjadinya degradasi lahan dan meningkatnya keterjadian penyakit (Garside et al. 2005), penurunan kesuburan tanah dan struktur komunitas mikrobial tanah (Pang et al. 2021), penurunan kandungan bahan organik, sifat fisika dan mikrobial tanah (Dominy et al. 2001).

Pada perkebunan kelapa sawit, diprediksi akan terjadi penurunan produksi kelapa sawit Indonesia sebagai implikasi dari perubahan iklim dan serangan penyakit busuk pangkal batang sawit terutama di wilayah Sumatera (Paterson 2020). Peningkatan serangan penyakit ini terkait dengan durasi keberadaan perkebunan kelapa sawit atau pertanaman kelapa sawit yang terus-menerus dengan program replanting (Murphy et al. 2021).

Pada tanaman tahunan, setelah mencapai umur puncak produksi maka produktivitas akan turun. Gejala agroekosistem degeneratif dapat ditunjukkan oleh puncak produksi yang lebih rendah (gap produktivitas), atau penurunan produktivitas yang lebih cepat setelah mencapai puncak produksi. Evizal dan Prasmatiwi (2022) melaporkan penurunan produktivitas setelah produksi puncak sebagai akibat meningkatnya keterjadian penyakit busuk pangkal batang sawit. Evizal dan Prasmatiwi (2020a) juga melaporkan penurunan daya dukung agroekosistem lada di Kabupaten Lampung Utara akibat perubahan iklim dan serangan penyakit busuk pangkal lada yang menyebabkan menurunnya luas areal perkebunan lada dan rendahnya produktivitas.

FAKTOR REGENERATIF - DEGENERATIF

Faktor-faktor yang menentukan produktivitas tanaman apakah berkelanjutan atau semakin menurun adalah faktor abiotik seperti faktor iklim dan tanah, faktor biotik seperti vegetasi, hama, dan penyakit, serta faktor teknologi (Liliane and Charles 2020). Faktor perubahan iklim yang berpengaruh negatif terhadap produktivitas tanaman telah banyak dilaporkan seperti Tavares et al (2018), Magrach dan Ghazoul (2015), dan Camargo (2010). Demikian juga pengaruh hama dan penyakit telah banyak dilaporkan seperti Syahri dan Somantri (2016) serta Sacristan dan Garcia-Arenal (2008). Evizal

dan Prasmatiwi (2022) menyatakan bahwa serangan penyakit Ganoderma mendorong terjadinya degenerasi produktivitas yang ditandai oleh produktivitas lebih cepat menurun antar generasi replanting.

Faktor teknologi dapat menyebabkan degenerasi agroekosistem seperti penggunaan bahan kimia dan pengolahan tanah yang tidak ramah lingkungan, sistem monokultur jangka panjang tanpa rotasi, serta kurangnya pengembangan dan penataan varietas atau klon. Pertanian monokultur intensif (pengolahan tanah dan input) dan terus-menerus dalam jangka panjang akan menunjukkan keadaan agroekosistem degeneratif sebagai akibat dari penurunan kualitas lahan seperti penurunan kandungan bahan organik, kation terlarut, dan kapasitas tukar kation (Rezapour et al. 2015). Pertanaman kentang intensif yang terus-menerus dalam jangka panjang menunjukkan penurunan produktivitas seperti dilaporkan oleh Saini dan Grant (1980) antara lain akibat erosi yang tinggi jika guludan searah kelerengan (Henny et al. 2011).

Penurunan produksi padi sebagai dampak perubahan iklim dilaporkan oleh Tan et al. (2021). Gejala penurunan produktivitas akibat penanaman padi intensif dalam jangka panjang dapat dilakukan dengan pengelolaan pemupukan secara tepat (Dobermann et al. 2000) dan pemupukan seimbang (Shankar et al. 2021).

Bahan organik tanah berperan sangat penting pada kesehatan tanah dan produktivitas tanaman. Komponen tanah yang selalu berubah ini memberikan pengaruh besar pada banyak sifat fisik, kimia, dan biologi tanah dan fungsi ekosistem tanah seperti meningkatkan agregasi tanah, meningkatkan pertukaran nutrisi, mempertahankan kelembaban tanah, mengurangi pemadatan dan pengerasan permukaan, dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Selain itu bahan organik memasok energi dan konstituen pembangun tubuh untuk sebagian besar organisme di dalam tanah (Gurmu 2019). Konversi lahan

vegetasi alami menjadi lahan pertanian akan menurunkan kandungan bahan organik. Akan tetapi kandungan bahan organik yang tetap tinggi dapat diupayakan dengan melakukan berbagai praktik budidaya konservasi seperti dijelaskan Powlson et al (2022).

Degradasi lahan merupakan masalah lingkungan utama yang menghabiskan stok bahan organik tanah, nitrogen dan unsur hara lainnya yang pada gilirannya secara langsung memengaruhi kesuburan dan produktivitas lahan. Deplesi bahan organik tanah merupakan penyebab utama degradasi lahan. Lin et al. (2022) melaporkan sistem pertanaman padi yang intensif mengalami deteriorasi sehingga membahayakan upaya produksi berkelanjutan.

Faktor regeneratif dan degeneratif agroekosistem yang juga berperan sangat penting adalah vegetasi, yaitu sebagai produsen dalam ekologi rantai makanan. Vegetasi menghasilkan biomassa sebagai sumber energi bagi organisme dalam tanah dan sumber bahan organik tanah. Dengan demikian keadaan vegetasi, penutupannya, keragamannya, dan sejarah tataguna lahan menentukan kandungan bahan organik seperti dilaporkan Pulleman et al. (2000) serta keragaman organisme tanah seperti dinyatakan Beule et al. (2022). Faktor menurunnya daya dukung tanaman antara lain karena penggunaan varietas atau klon yang sama secara terus-menerus. Hal ini akan menyebabkan rendahnya produktivitas dan tingginya kehilangan hasil akibat infestasi hama dan penyakit tanaman dan perubahan iklim.

Peningkatan intensitas pengelolaan lahan akan diikuti berkurangnya keragaman tumbuhan yang selanjutnya menyebabkan penurunan keragaman mikroba tanah (Wen et al. 2020), atau secara umum menurunkan sifat mikrobiologi dan biokimia tanah (Pascual et al. 2001). Pada produksi cabe, budidaya monokultur jangka panjang mengubah variabel lingkungan sehingga akan memengaruhi komunitas mikroba yang dominan di sekitar perakaran cabe (Chen et

al. 2021). Hal ini juga terjadi pada perkebunan kopi. Perkebunan kopi monokultur jangka panjang akan mengubah sifat kimia dan komunitas mikroba tanah (Zhao et al. 2018).

Pada sistem *alley-cropping* kelimpahan, keragaman, dan fungsi mikroba tanah lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pertanian monokultur sehingga diharapkan berkontribusi pada peningkatan kesuburan tanah biologis (Beule et al. 2022). Biodiversitas merupakan salah satu pilar pertanian regeneratif, baik biodiversitas flora dan fauna di atas tanah maupun organisme di dalam tanah. Krisis biodiversitas menyebabkan berkurangnya siklus biologis tanah (Giller et al. 2021) yang dapat menyebabkan penurunan ekosistem servis sehingga menimbulkan gejala ekosistem degeneratif.

Keanekaragaman dapat menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah serta mengurangi dampak hama dan penyakit. Keanekaragaman hayati pertanian juga akan sangat penting untuk mengatasi perkiraan dampak perubahan iklim, tidak hanya sebagai sumber sifat tetapi sebagai fondasi ekosistem pertanian yang lebih tangguh (Frison et al. 2011). Interaksi antara tumbuhan, serangga herbivora, dan musuh alamnya terkait dengan ketersediaan sumber makanan. Interaksi trofik tersebut berhubungan dengan kemunculan dan perkembangan hama tertentu (Wenda-piesik and Piesik 2021).

Sistem tumpang sari yang juga dikenal sebagai tanaman campuran atau polikultur, merupakan praktik pertanian tradisional dengan budidaya tanaman yang beragam, menggunakan input yang relatif rendah dan meningkatkan kualitas agroekosistem. Tumpang sari memastikan banyak manfaat seperti peningkatan hasil, keamanan lingkungan, keberlanjutan produksi dan jasa ekosistem yang lebih besar (Maitra et al. 2021).

Upaya mitigasi faktor-faktor tersebut berarti memilih jalan menuju pertanian regeneratif. Praktik sistem pertanian

regeneratif dan penerapannya dalam program telah banyak dibahas seperti Lal et al. (2020), Giller et al. (2021), dan O'donoghue et al. (2022).

KESIMPULAN

Variabel agronomi yang penting dalam budidaya pertanian antara lain adalah produksi dan produktivitas. Produktivitas tanaman dipengaruhi oleh banyak faktor yang saling berinteraksi. Penurunan produksi dan produktivitas yang terus berlangsung dalam jangka panjang mengindikasikan pengelolaan agroekosistem yang bersifat degeneratif. Pertanian degeneratif adalah praktik pertanian yang menyebabkan produktivitas yang terus menurun sebagai akibat dari penurunan daya dukung agroekosistem baik tanah, tanaman dan flora lainnya, fauna, mikroba, iklim dan sosial. Penurunan daya dukung tanah antara lain ditunjukkan oleh degradasi lahan, penurunan keragaman dan aktivitas organisme tanah, kandungan bahan organik dan ketersediaan unsur hara dalam tanah akibat pengurusan hara terangkut panen, erosi dan praktik budidaya yang kurang tepat. Faktor-faktor pendorong agroekosistem degeneratif antara lain adalah degradasi lahan, penurunan biodiversitas, penanaman varietas dan jenis tanaman yang sama terus-menerus, penggunaan masukan bahan kimia intensif, serangan hama dan penyakit, serta perubahan iklim yang semuanya saling berinteraksi.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin, Z., I. Sutrisno, E. Korlina, and I. R. Dewi. 2017. "Kajian Budidaya Kentang Ramah Lingkungan Dengan Teknik Konservasi Tanah Di Lahan Kering Berlereng (Study of Environmentally Friendly Potato Cultivation with Soil Conservation Techniques in Sloping Upland Area)."

- Jurnal Hortikultura* 27 (1): 55–68.
- Bahadur, K., D. Montocchio, A. Berg, E.D.G. Fraser, B. Daneshfar, and C. Champagne. 2020. “How Climatic and Sociotechnical Factors Influence Crop Production: A Case Study of Canola Production.” *SN Applied Sciences* 2 (12): 1–9.
- Beule, L., A. Vaupel, and V. E. Moran-Rodas. 2022. “Abundance, Diversity, and Function of Soil Microorganisms in Temperate Alley-Cropping Agroforestry Systems: A Review.” *Microorganisms* 10 (3): 1–14.
- Caliman, J. P., A. Berthaud, B. Dubos, and B. Tailliez. 2005. “Agronomy, Sustainability and Good Agricultural Practices.” *Oleagineux Corps Gras Lipides* 12 (2): 134–40.
- Camargo, M. B. P. de. 2010. “The Impact of Climatic Variability and Climate Change on Arabic Coffee Crop in Brazil.” *Bragantia* 69 (1): 239–47.
- Chandrasekaran, B., K. Annadurai, and E. Somasundaram. 2010. *A Textbook of Agronomy*. New Delhi: New Age International.
- Chen, W., X. Guo, Q. Guo, X. Tan, and Z. Wang. 2021. “Long-Term Chili Monoculture Alters Environmental Variables Affecting the Dominant Microbial Community in Rhizosphere Soil.” *Frontiers in Microbiology* 12 (July): 1–15.
- Deguines, N., C. Jono, M. Baude, M. Henry, R. Julliard, and C. Fontaine. 2014. “Large-Scale Trade-off between Agricultural Intensification and Crop Pollination Services.” *Frontiers in Ecology and the Environment* 12 (4): 212–17.
- Dobermann, A., D. Dawe, R. P. Roetter, and K. G. Cassman. 2000. “Reversal of Rice Yield Decline in a Long-Term Continuous Cropping Experiment.” *Agronomy Journal* 92 (4): 633–43.
- Dobermann, A., J. L. Ping, V. I. Adamchuk, G. C. Simbahan, and R. B. Ferguson. 2003. “Classification of Crop Yield Variability in Irrigated Production Fields.” *Agronomy Journal* 95 (5): 1105–20.
- Dominy, C. S., R. J. Haynes, and R. van Antwerpen. 2001. “Long-Term Effects of Sugarcane Production on Soil Quality in the South Coast and the Midlands Area of Kwazulu-Natal.” In *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.*, 222–27.
- 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. 2020a. “Farmers’ Perception to Climate Change and Adaptation to Sustain Black Pepper Production in North Lampung, Indonesia.” In *Proc Ulicoste*, 7. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- . 2021. “Review: Pilar Dan Model Pertanian Berkelanjutan Di Indonesia.” *Jurnal Galung Tropika* 10 (1): 126–37.
- . 2022. “Penyakit Busuk Pangkal Batang Dan Performa Produktivitas Kelapa Sawit.” *Jurnal Agrotropika* 21 (1): 47–54.
- Evizal, R., F. E. Prasmatiwi, S. Widagdo, and H. Novpriansyah. 2020. “Etno-Agronomi Budidaya Kopi Yang Toleran Variabilitas Curah Hujan.” *Jurnal Agro Industri Perkebunan* 8 (1): 49–59.
- Evizal, R., and F.E. Prasmatiwi. 2020b. “Agroteknologi Kopi Grafting Untuk Peningkatan Produksi.” *Jurnal Agrotek Tropika* 8 (3): 423–34.
- Frison, E. A., J. Cherfas, and T. Hodgkin. 2011. “Agricultural Biodiversity Is

- Essential for a Sustainable Improvement in Food and Nutrition Security.” *Sustainability* 3 (1): 238–53.
- Fujisao, K., P. Khanthavong, S. Oudthachit, N. Matsumoto, K. Homma, H. Asai, and T. Shiraiwa. 2020. “Impacts of the Continuous Maize Cultivation on Soil Properties in Sainyabuli Province, Laos.” *Scientific Reports* 10 (11231): 1–9.
- Garside, A. L., M. J. Bell, B. G. Robotham, R. C. Magarey, and G. R. Stirling. 2005. “Managing Yield Decline in Sugarcane Cropping Systems.” *International Sugar Journal* 107 (1273): 16–26.
- Giller, K. E., R. Hijbeek, J. A. Andersson, and J. Sumberg. 2021. “Regenerative Agriculture: An Agronomic Perspective.” *Outlook on Agriculture* 50 (1): 13–25.
- Gurmu, G. 2019. “Soil Organic Matter and Its Role in Soil Health and Crop Productivity Improvement.” *Academic Research Journal* 7 (7): 475–83.
- Henny, H., K. Murti Laksono, N. Sinukaban, and S. D. Tarigan. 2011. “Erosi Dan Kehilangan Hara Pada Pertanaman Kentang Dengan Beberapa Sistem Guludan Pada Andisol Hulu Das Marao; Kabupaten Kerinci, Jambi.” *Jurnal Solum* 8 (2): 43–52.
- Howeler, R. 2014. *Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia*. CIAT. www.ciat.cgiar.org.
- Ikerd, J. 2021. “The Economic Pamphleteer: Realities of Regenerative Agriculture.” *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development* 10 (2): 1–4.
- Lal, R. 2020. “Regenerative Agriculture for Food and Climate.” *Journal of Soil and Water Conservation* 75 (5): 1–2.
- 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.
- Lin, S., W. Wang, T. Vancov, D. Yuk, F. Lai, C. Wang, M. Wiesmeier, Q. Jin, X. Liu, and Y. Fang. 2022. “Catena Soil Carbon, Nutrients and Their Stoichiometry Decrement in Relation to Paddy Field Degradation: Investigation in a Subtropical Region.” *Catena* 217 (June): 1–11.
- Lobell, D. B., K. G. Cassman, and C. B. Field. 2009. “Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes.” *Annual Review of Environment and Resources* 34: 179–204.
- Loring, P. A. 2022. “Regenerative Food Systems and the Conservation of Change.” *Agriculture and Human Values* 39 (2): 701–13.
- Magrath, A., and J. Ghazoul. 2015. “Climate and Pest-Driven Geographic Shifts in Global Coffee Production: Implications for Forest Cover, Biodiversity and Carbon Storage.” *PLoS ONE* 10 (7): 1–15.
- Maitra, S., A. Hossain, M. Brestic, M. Skalicky, P. Ondrisik, H. Gitari, K. Brahmachari, et al. 2021. “Intercropping—A Low Input Agricultural Strategy for Food and Environmental Security.” *Agronomy* 11 (343): 1–29.
- Marita, L., M. Arief, N. Andriani, and M. A. Wildan. 2021. “Strategi Peningkatan Kesejahteraan Petani Indonesia, Review Manajemen Strategis.” *Agriekonomika* 10 (1): 1–18.
- Martins, L. D., F. C. Eugenio, W. N. Rodrigues, S. V. B. Brinati, T. V. Colodetti, B. F. Christo, D. B. L. Olivas, et al. 2018. “Adaptation to Long-Term Rainfall Variability for Robusta Coffee Cultivation in Brazilian Southeast.” *American Journal of Climate Change* 07 (04): 487–504.
- Murphy, D. J., K. Goggin, and R. R. M. Paterson. 2021. “Oil Palm in the 2020s and beyond: Challenges and Solutions.” *CABI Agriculture and Bioscience* 2 (39): 1–22.
- Najafi, E., N. Devineni, R. M. Khanbilvardi, and F. Kogan. 2018. “Understanding

- the Changes in Global Crop Yields Through Changes in Climate and Technology.” *Earth’s Future* 6 (3): 410–27.
- O’donoghue, T., B. Minasny, and A. McBratney. 2022. “Regenerative Agriculture and Its Potential to Improve Farmscape Function.” *Sustainability (Switzerland)* 14 (10).
- Pang, Z., M. Tayyab, C. Kong, Q. Liu, Y. Liu, C. Hu, J. Huang, et al. 2021. “Continuous Sugarcane Planting Negatively Impacts Soil Microbial Community Structure, Soil Fertility, and Sugarcane Agronomic Parameters.” *Microorganisms* 9 (10): 1–18.
- Pascual, J. A., M. Ros, T. Hernandez, and C. Garcia. 2001. “Effect of Long-Term Monoculture on Microbiological and Biochemical Properties in Semiarid Soils.” *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32 (3–4): 537–52.
- Paterson, R. R. M. 2020. “Depletion of Indonesian Oil Palm Plantations Implied from Modeling Oil Palm Mortality and Ganoderma Boninense Rot under Future Climate.” *AIMS Environmental Science* 7 (5): 366–79.
- Powelson, D. S., P. R. Poulton, M. J. Glendining, A. J. Macdonald, and K. W. T. Goulding. 2022. “Is It Possible to Attain the Same Soil Organic Matter Content in Arable Agricultural Soils as under Natural Vegetation?” *Outlook on Agriculture* 51 (1): 91–104.
- Prashar, P., and S. Shah. 2016. “Impact of Fertilizers and Pesticides on Soil Microflora in Agriculture.” In *Sustainable Agriculture Review*, 331–61. Switzerland: Springer.
- Pulleman, M. M., J. Bouma, E. A. van Essen, and E. W. Meijles. 2000. “Soil Organic Matter Content as a Function of Different Land Use History.” *Soil Science Society of America Journal* 64 (2): 689–93.
- Raven, P. H., and D. L. Wagner. 2021. “Agricultural Intensification and Climate Change Are Rapidly Decreasing Insect Biodiversity.” *PNAS* 118 (2): 1–6.
- Rezapour, S., S. Najari, and N. Ghaemian. 2015. “The Impacts of Long-Term Intensive Agriculture on the Vertisol Properties in a Calcareous Region.” *Environmental Monitoring and Assessment* 187 (247): 1–14.
- Rhodes, C. J. 2017. “The Imperative for Regenerative Agriculture.” *Science Progress* 100 (1): 80–129.
- Sacristán, S., and F. García-Arenal. 2008. “The Evolution of Virulence and Pathogenicity in Plant Pathogen Populations.” *Molecular Plant Pathology* 9 (3): 369–84.
- Saini, G. R., and W. J. Grant. 1980. “Long-Term Effects of Intensive Cultivation on Soil Quality in the Potato-Growing Areas of New Brunswick (Canada) and Maine (U.S.A.).” *Can. J. Soil Sci.* 60: 421–28.
- Sanyal, D., and J. Wolthuizen. 2021. “Regenerative Agriculture: Beyond Sustainability.” *International Journal on Agriculture Research and Environmental Sciences* 2 (1): 2–4.
- Seleiman, M. F., and E. M. Hafez. 2021. “Optimizing Inputs Management for Sustainable Agricultural Development.” In *Mitigating Environmental Stresses for Agricultural Sustainability in Egypt*, edited by H. Awaad, M. Abu-hashim, and A. Negm, 487–507. Springer Water.
- Shankar, T., G. C. Malik, M. Banerjee, S. Dutta, S. Maitra, S. Praharaj, M. Sairam, et al. 2021. “Productivity and Nutrient Balance of an Intensive Rice–Rice Cropping System Are Influenced by Different Nutrient Management in the Red and Lateritic Belt of West Bengal, India.” *Plants* 10 (8): 1–24.
- Sial, A. K., T. Shankar, S. Praharaj, U. Sahoo, and S. Maitra. 2021. “Intensive Farming: It’s Effect on the Environment.” *Indian Journal of*

- Natural Sciences* 12 (69): 37480–87.
- Silva, J. V., V. O. Pede, A. M. Radanielson, W. Kodama, A. Duarte, A. H. de Guia, A. J. B. Malabayabas, et al. 2022. “Revisiting Yield Gaps and the Scope for Sustainable Intensification for Irrigated Lowland Rice in Southeast Asia.” *Agricultural Systems* 198 (103383): 1–14.
- Sudibyakto, T. Yunianto, B. A. Suripto, and A. Kurniawan. 2002. “Pemetaan Kondisi Sumberdaya Alam Kawasan Dataran Tinggi Dieng.” In *Prosiding Semminar Hasil-Hasil Penelitian Fakultas Geografi UGM Tahun 2002*, 88–100. Yogyakarta.
- Syahri, and R. U. Somantri. 2016. “Penggunaan Varietas Unggul Tahan Hama Dan Penyakit Mendukung Peningkatan Produksi Padi Nasional.” *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian* 35 (1): 25–36.
- Tan, B. T., P. S. Fam, R. B. R. Firdaus, M. L. Tan, and M. S. Gunaratne. 2021. “Impact of Climate Change on Rice Yield in Malaysia: A Panel Data Analysis.” *Agriculture* 11 (6): 1–17.
- Tan, Z. X., R. Lal, and K. D. Wiebe. 2005. “Global Soil Nutrient Depletion and Yield Reduction.” *Journal of Sustainable Agriculture* 26 (1): 123–46.
- Tavares, P. da S., A. Giarolla, S. C. Chou, A. J. de P. Silva, and A. de A. Lyra. 2018. “Climate Change Impact on the Potential Yield of Arabica Coffee in Southeast Brazil.” *Regional Environmental Change* 18 (3): 873–83.
- Wagner, S., L. Jassogne, E. Price, M. Jones, and R. Preziosi. 2021. “Impact of Climate Change on the Production of Coffea Arabica at Mt. Kilimanjaro, Tanzania.” *Agriculture (Switzerland)* 11 (53): 1–15.
- Wen, Z., H. Zheng, H. Zhao, S. Xie, L. Liu, and Z. Ouyang. 2020. “Land-Use Intensity Indirectly Affects Soil Multifunctionality via a Cascade Effect of Plant Diversity on Soil Bacterial Diversity.” *Global Ecology and Conservation* 23 (18): 1–10.
- Wenda-piesik, A., and D. Piesik. 2021. “Diversity of Species and the Occurrence and Development of a Specialized Pest Population—a Review Article.” *Agriculture (Switzerland)* 11 (1): 1–13.
- Woittiez, L. S., M. T. van Wijk, M. Slingerland, M. van Noordwijk, and K. E. Giller. 2017. “Yield Gaps in Oil Palm: A Quantitative Review of Contributing Factors.” *European Journal of Agronomy* 83: 57–77.
- Zhao, Q., W. Xiong, Y. Xing, Y. Sun, X. Lin, and Y. Dong. 2018. “Long-Term Coffee Monoculture Alters Soil Chemical Properties and Microbial Communities.” *Scientific Reports* 8 (1): 1–11.
- Zulu, S. G., N. M. Motsa, N. J. Sithole, L. S. Magwaza, and K. Ncama. 2022. “Soil Macrofauna Abundance and Taxonomic Richness under Long-Term No-Till Conservation Agriculture in a Semi-Arid Environment of South Africa.” *Agronomy* 12 (3): 1–14.