



## **Adopsi dan Implementasi Permakultur Dalam Meningkatkan Pendapatan Petani dan Mempertahankan Keragaman Biodiversitas**

**Liana Suryaningsih B.<sup>1\*</sup>, Herman Suheri<sup>1</sup>, Nurrachman<sup>1</sup>, Jayaputra<sup>1</sup>, Ziyadil Ikbar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>(Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

*Article history:*

Received: 3 Desember 2024

Revised: 4 Desember 2024

Accepted: 5 Desember 2024

*\*Corresponding Author:*

Liana Suryaningsih B.,

Program Studi

Agroekoteknologi, Fakultas

Pertanian Universitas Mataram,

Mataram, Indonesia;

Email:

liana.suryaningsih@unram.ac.id

**Abstract:** *The development of the agricultural sector currently focuses on sustainable industrial agriculture to improve the economy and human resource quality. Dusun Selen Aik faces challenges in orchard management and crop diversification, leading to increased disease risks and poor productivity. Uneven fruit production and underutilized agricultural waste further compound these issues. Implementing Good Agricultural Practices (GAP) and environmentally friendly technologies is crucial for achieving sustainable agriculture. This community service program aims to enhance the quality and competitiveness of plantation and horticultural products through GAP, permaculture, and eco-friendly technologies. These efforts target increased farmer incomes, economic sustainability, and environmental protection. The community service program involves 56 farmers from the Tandan Hijau group using surveys, observations, and participatory action approaches. Farmers actively participated in activities, including lectures, discussions, training sessions, and field demonstrations on permaculture and organic farming practices. Evaluations revealed increased awareness of permaculture, pest management, and carbon farming. Farmers have begun converting agricultural waste into compost and livestock feed. The initiative provided practical support, such as drying racks, and established a demonstration plot for permaculture-based garden management with ongoing guidance. By integrating permaculture and sustainable practices, this program improves farmers' well-being, enhances economic resilience, and promotes environmental sustainability.*

**Keywords:** *good\_agricultural\_practices; permaculture; organic\_cultivation*

**Abstrak:** Pembangunan sektor pertanian saat ini dititikberatkan pada pertanian industri yang berkelanjutan untuk meningkatkan ekonomi dan kualitas sumber daya manusia. Dusun Selen Aik menghadapi tantangan dalam pengelolaan kebun dan keragaman tanaman, yang menyebabkan resiko penyakit dan manajemen kebun yang rendah. Penerapan Good Agricultural Practices (GAP) penting untuk meningkatkan kualitas dan daya saing produk yang dihasilkan dari lahan kebun petani. Produksi buah yang tidak merata dan kurangnya pemanfaatan limbah pertanian juga menjadi masalah. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan keterampilan petani dengan teknologi ramah lingkungan untuk mencapai pertanian yang berkelanjutan. Adapun tujuan dari kegiatan pengabdian ini adalah untuk meningkatkan kualitas dan daya saing produk perkebunan dan hortikultura melalui penerapan Good Agricultural Practices (GAP) pada penerapan permakultur dan teknologi ramah lingkungan yang bermanfaat terhadap upaya peningkatan pendapatan petani, keberlanjutan ekonomi, serta perlindungan lingkungan. Kegiatan pengabdian masyarakat ini melibatkan 56 petani dari kelompok Tandan Hijau. Metode yang digunakan meliputi survei, observasi, dan pendekatan tindak partisipatif, di mana petani dilibatkan dalam semua tahapan kegiatan yang mencakup ceramah, diskusi, pelatihan, dan demonstrasi lapangan tentang sistem permakultur dan teknologi budidaya organik. Evaluasi dilakukan untuk menilai keterlibatan, antusiasme, dan penerapan pengetahuan oleh peserta. Petani menunjukkan peningkatan kesadaran dan pemahaman tentang pentingnya permakultur, penanganan hama, dan 'carbon farming.' Mereka juga mulai mengolah limbah kebun menjadi kompos dan pakan ternak. Selain itu, bantuan alat seperti rak pengering diserahkan dan demplot pengelolaan kebun secara permakultur akan segera dilakukan dengan pendampingan yang berkelanjutan. Permakultur berperan penting dalam meningkatkan kesejahteraan petani serta memberikan kontribusi positif pada masyarakat dengan memperbaiki ekonomi dan lingkungan.

**Kata kunci:** *good\_agricultural\_practices; permakultur; budidaya\_organik*

## **PENDAHULUAN**

Pembangunan sektor pertanian saat ini menitikberatkan pada pertanian berorientasi bisnis, berkelanjutan secara lingkungan, dan menjadi solusi dalam mengurangi kemiskinan serta meningkatkan kualitas sumber daya manusia. Salah satu pendekatan yang diambil adalah melalui pengembangan komoditas hortikultura yang memiliki potensi di suatu wilayah. Langkah ini bertujuan untuk memperkuat ekonomi wilayah dengan menaikkan daya saingnya. Pengembangan tanaman hortikultura tidak hanya fokus pada peningkatan produksi komoditas, tetapi juga menghadapi berbagai permasalahan dalam meningkatkan kualitas dan daya saing produk hortikultura. Ini berkaitan erat dengan penerapan praktik pertanian yang baik, perbaikan sistem rantai pemasaran, dan organisasi petani.

Selain itu, pengembangan hortikultura bertujuan untuk memberikan tambahan nilai pada pendapatan petani dengan menerapkan teknologi Good Agricultural Practices (GAP) dan manajemen produksi yang sesuai dengan kondisi sumber daya alam. Di samping itu, pentingnya keragaman tanaman dalam pertanian atau kebun menjadi krusial karena mendukung biodiversitas. Keragaman ini menjadi kunci dalam menjawab perubahan iklim dan memperkuat ketahanan lingkungan secara keseluruhan.

Merujuk pada Peraturan Menteri Pertanian No. 61/Permentan/OT.160/11/2006, penerapan Good Agricultural Practices (GAP) bertujuan untuk: (1) meningkatkan produksi dan produktivitas pertanian, (2) meningkatkan kualitas hasil pertanian dengan fokus pada keamanan konsumsi, (3) meningkatkan efisiensi produksi dan daya saing, (4) memperbaiki penggunaan sumber daya alam, (5) menjaga kesuburan lahan dan kelestarian lingkungan untuk sistem produksi yang berkelanjutan, (6) mendorong tanggung jawab petani terhadap kesehatan, keamanan diri, dan lingkungan, serta (7) memberikan jaminan keamanan kepada konsumen. Tujuan utama dari GAP ini adalah mencapai keamanan pangan, menjamin mutu produk, mendukung pertanian hortikultura yang berkelanjutan, dan meningkatkan daya saing. Keseluruhan tujuan ini didasarkan pada konsep "pertanian berkelanjutan," yang bertujuan untuk mengoptimalkan sumber daya alam dan manusia dalam meningkatkan produksi dengan mempertimbangkan dan menjaga kelestarian lingkungan serta kontinuitasnya.

Masyarakat di Dusun Selen Aik menghadapi beberapa permasalahan dalam pertaniannya. Mereka mayoritas bergantung pada budidaya tanaman vanili sebagai sumber pendapatan utama. Meskipun lahan kebun memiliki potensi luas untuk pengembangan dengan keanekaragaman tanaman, pengelolaan kebun masih kurang profesional, menyebabkan pendapatan yang diterima tidak sebanding dengan potensi hasil yang ada. Tanaman buah-buahan yang ada tidak dikelola sesuai dengan standar Good Agricultural Practices, sehingga tidak menghasilkan nilai tambah yang dapat mendukung ekonomi masyarakat. Selain itu, keragaman tanaman yang terlalu padat menyebabkan serangan penyakit pada tanaman vanili dan kesulitan manajemen, padahal keragaman ini penting untuk mendukung biodiversitas lingkungan dan mengatasi perubahan iklim.

Permasalahan lainnya adalah timbulnya keadaan dimana produksi buah segar, terutama pada periode tertentu, sangat berlimpah sementara periode lainnya mengalami gagal panen. Hal lain yang tak kalah pelik adalah limbah pertanian juga belum dimanfaatkan atau diolah secara maksimal, menyebabkan pemborosan sumber daya yang bisa dimanfaatkan lebih baik.

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan usaha untuk meningkatkan pemahaman dan keahlian petani di Dusun Selen Aik dalam mengelola lahan pertanian mereka dengan fokus pada komoditas hortikultura. Hal ini dilakukan melalui sosialisasi tentang pentingnya memilih tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan menerapkan teknologi pertanian yang ramah lingkungan. Tujuannya adalah agar praktik pertanian yang diterapkan tidak hanya menguntungkan dari segi ekonomi, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan secara menyeluruh.

## **METODE**

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan di Dusun Selen Aik, Desa Sedau, Kecamatan Narmada, Kabupaten Lombok Barat, dengan melibatkan 56 petani dari kelompok Tandan Hijau yang memiliki basis pengembangan komoditas hortikultura sebagai komoditi andalan. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode survei dengan teknik observasi. Pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini menggunakan metode pendekatan tindak-partisipatif (Participatory Action) yaitu suatu bentuk pendekatan yang

melibatkan kelompok sasaran pada semua tahapan yang berlangsung selama implementasi kegiatan (Daniel, *et al.*, 2005). Tahap pelatihan, praktik, dilakukan pembinaan langsung oleh tim pelaksana. Pemberdayaan masyarakat dengan metode ini pada dasarnya adalah upaya pelibatan masyarakat untuk belajar dan beraktivitas secara berkelanjutan dalam rangka meningkatkan kualitas hidup mereka. Dengan cara seperti ini, maka diharapkan kegiatan kaji terap partisipatif dalam pengembangan hortikultura yang tersusun adalah program yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat dan dapat berkelanjutan.

Kegiatan penyuluhan dilaksanakan dengan cara ceramah dan diikuti diskusi/tanya jawab. Kegiatan dilanjutkan dengan pelatihan/demplot penerapan sistem permakultur melalui terapan stratifikasi pohon dan lapisan vegetasi, serta teknologi budidaya berbagai komoditas tanaman hortikultura yang disesuaikan dengan kebutuhan masyarakat setempat dan pasar, serta pemanfaatan limbah rumah tangga, sisa-sisa tanaman, kotoran ternak untuk pembuatan kompos dan pengenalan tanaman lokal setempat yang berpotensi sebagai pestisida organik/hayati.

Untuk melakukan bimbingan secara intensif pada setiap kegiatan yang dilakukan oleh kelompok petani, maka dilakukan pendampingan di lapangan oleh tim PPM Fakultas Pertanian Universitas Mataram sebagai tenaga ahli. Di samping itu, keterlibatan mahasiswa diharapkan lebih dapat mengefektifkan pendampingan selama pelaksanaan kegiatan.

Evaluasi merupakan kegiatan akhir program pengabdian kepada masyarakat. Evaluasi dilakukan terhadap peran dan keterlibatan peserta, antusiasme serta serapan peserta terhadap kegiatan penyuluhan, demplot dan bimbingan yang telah dilakukan. Tanggapan peserta terhadap keseluruhan rangkaian kegiatan PPM ini dan keinginan untuk menerapkannya menjadi tolok ukur utama keberhasilan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ditampilkan hasil dan pembahasan kegiatan pengabdian yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan petani di dusun Selen Aik melalui penerapan sistem permakultur, termasuk di dalamnya pengelolaan limbah kebun dan *carbon farming*. Kegiatan ini dirancang untuk mengatasi masalah utama yang dihadapi petani, seperti ketergantungan pada satu komoditas dan pengelolaan kebun yang kurang optimal, dengan memberikan solusi berkelanjutan melalui teknik-teknik pertanian yang ramah lingkungan. Fokus utama pembahasan adalah peningkatan pemahaman petani tentang permakultur, pengendalian hama secara terpadu, dan pengolahan limbah kebun menjadi kompos dan pakan ternak.

Selain itu, kegiatan ini juga mencakup penerapan konsep *carbon farming* untuk meningkatkan penyerapan karbon dalam tanah, serta bantuan teknologi berupa rak pengering untuk membantu proses pengeringan secara merata dan higienis sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil produk (vanili, kakao, dan kopi). Melalui penerapan prinsip-prinsip permakultur dalam demplot kebun, diharapkan petani dapat mengadopsi praktik ini untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian. Pembahasan ini menggambarkan perubahan positif yang tercapai dalam meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kesejahteraan petani melalui pendekatan pertanian yang lebih berkelanjutan.

### 1. Kesadaran dan Pemahaman Petani terhadap Pentingnya Penerapan Permakultur.

Kegiatan ini telah mampu menunjukkan kesadaran dan pemahaman petani tentang permakultur secara signifikan. Petani mulai memahami bahwa permakultur bukan hanya teknik budidaya, tetapi juga sebuah pendekatan holistik yang mencakup desain ekosistem pertanian yang berkelanjutan. Mereka mulai mengadopsi praktik-praktik permakultur, seperti penggunaan tanaman penutup tanah, pengelolaan air secara efisien, dan pemanfaatan sumber daya lokal, untuk meningkatkan produktivitas dan ketahanan lahan mereka.

Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Hirschfeld dan Van Acker (2019), yang menunjukkan bahwa permakultur dapat mendukung keberlanjutan pertanian melalui diversifikasi tanaman, peningkatan kesuburan tanah, dan pengelolaan sumber daya lokal. Praktik ini juga menekankan pentingnya keberlanjutan ekosistem, mendukung stabilitas lingkungan serta memperkuat ketahanan terhadap perubahan iklim.



Gambar 1. (a): Ceramah mengenai pengertian dan penerapan permakultur; (b): situasi salah satu kebun petani setempat

**2. Kesadaran dan Pemahaman Petani terhadap Penanganan Hama Penyakit Tanaman.**

Hasil pelatihan dan penyuluhan menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman petani tentang pentingnya pengendalian hama dan penyakit tanaman secara terpadu. Melalui pelatihan dan penyuluhan, petani menjadi lebih sadar akan pentingnya penggunaan metode pengendalian hama yang ramah lingkungan dan efektif. Penggunaan *rhizobium* guna mengatasi serangan *phytophthora* pada vanili akan mulai dijalankan dalam waktu dekat. Membuang buah kakao yang terkena serangan hama dan penyakit dengan cara menimbun atau mengolahnya menjadi pakan ternak serta kompos mulai dilakukan oleh kelompok tani setempat. Langkah-langkah ini mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia yang seringkali beresiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

Penanganan hama terpadu ini mencerminkan Praktik yang direkomendasikan oleh Gambiza (2019), dimana pengelolaan lingkungan berbasis ekonomi mampu mengurangi resiko penyakit tanaman dan meningkatkan kualitas hasil panen. Selain itu, petani didorong untuk memanfaatkan limbah organik sebagai sumber daya produktif yang mendukung keberlanjutan ekonomi dan ekologis.



Gambar 2. (a): Identifikasi dan penanganan hama dan penyakit pada buah kakao; (b): Identifikasi dan penanganan penyakit pada tanaman vanili.

**3. Kesadaran dan Pemahaman Petani terhadap ‘Carbon Farming’ untuk Mendukung Penerapan Permakultur.**

Petani mulai memahami konsep ‘carbon farming,’ yaitu pendekatan agrikultur yang bertujuan untuk meningkatkan penyerapan karbon dari atmosfer ke dalam tanah dan vegetasi, sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca. Praktik ini menjadi solusi strategis dalam menghadapi perubahan iklim sekaligus memperbaiki kualitas tanah.

*Carbon farming* mengintegrasikan praktik-praktik untuk meningkatkan penyerapan karbon di lahan pertanian, seperti penggunaan tanaman penutup, pengomposan, dan agroforestry yang menjadi bagian penting dalam strategi ini. Pendekatan agroforestry selain dapat meningkatkan penyerapan karbon oleh biomassa dan akar juga menciptakan habitat bagi keanekaragaman hayati. Konsep *carbon farming* telah diperkenalkan sebagai bagian integral dari praktik pertanian berkelanjutan yang diterapkan dalam kegiatan ini.

Petani juga diingatkan bahwa membakar limbah (sampah) sangat tidak dianjurkan karena bertentangan dengan prinsip budidaya organik yang selama ini dijalankan juga dampak negatifnya dalam menyebabkan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>) yang merugikan kesehatan tanah. Kesadaran ini mendukung penerapan permakultur dengan menekankan pentingnya meminimalkan jejak karbon dan mempromosikan praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan. Langkah ini didukung oleh penelitian McLennon *et al.* (2021), yang menyatakan bahwa penerapan metode seperti 'carbon farming' dapat mengurangi jejak karbon, meningkatkan kualitas tanah dan mendukung ketahanan pangan di masa depan.

Dampak dan potensi jangka panjang dengan pengadopsian teknik ini adalah diharapkan adanya potensi peningkatan kandungan karbon dalam tanah dapat mencapai 0,5-1,0 ton per hektar per tahun (McLennon *et al.*, 2021). Selain itu, tanah yang kaya akan karbon mampu mendukung pertumbuhan tanaman dengan lebih baik, meningkatkan produktivitas hingga 20%, serta memperbaiki keseimbangan ekosistem lokal.

#### **4. Pengolahan Limbah Kebun menjadi Kompos dan Pakan Ternak.**

Kegiatan ini diharapkan dapat menjadikan petani semakin sadar akan manfaat pengolahan limbah kebun menjadi kompos dan pakan ternak. Mereka akan mulai mengolah sisa-sisa tanaman, kotoran ternak, dan limbah organik lainnya menjadi kompos, yang digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah. Pembuatan pupuk organik cair (POC) berbahan limbah kebun dan rumah tangga juga diharapkan akan mampu menjadi sebuah terobosan dimana POC akan diaplikasikan melalui sistem pengairan di greenhouse sehingga petani akan mendapatkan manfaat ganda yaitu pengairan dan pemupukan sekaligus. Selain itu, limbah tanaman juga diolah menjadi pakan ternak, yang membantu mengurangi biaya pakan dan mendukung siklus pertanian yang lebih berkelanjutan.

Buah kakao muda sering kali menjadi limbah akibat serangan hama atau kegagalan panen. Namun, kandungan nutrisi yang tinggi, seperti protein dan serat kasar, membuatnya memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Tantangan utama adalah tingginya kandungan tanin, yaitu senyawa fenolik yang dapat mengganggu pencernaan ternak dan mengurangi ketersediaan nutrisi. Melalui teknik fermentasi menggunakan EM4, diharapkan kandungan tanin dapat berkurang hingga 60-70%, menjadikannya aman dikonsumsi oleh hewan ternak sapi dan kambing.

Dampak ekonomi dari pengolahan limbah kakao muda menjadi pakan ternak diharapkan dapat membantu mengurangi biaya pakan hingga 25% bagi petani. Selain itu, penggunaan pakan lokal mendukung siklus pertanian yang lebih mandiri dan berkelanjutan, sekaligus mengurangi pemborosan sumber daya.

#### **5. Penyerahan Bantuan Alat Drying Rack:**

Sebagai bagian dari upaya mendukung praktik pertanian yang lebih baik, bantuan berupa rak pengering untuk vanili, kakao, dan kopi diserahkan kepada petani di akhir kegiatan ini. Bantuan ini diharapkan akan dapat memudahkan petani dalam melakukan teknik *sun-drying* yang dapat memberikan kualitas pengeringan secara merata terhadap produk sehingga dapat meningkatkan hasil panen dan menjaga kualitas produk vanili, kakao maupun kopi.

#### **6. Demplot Pengelolaan Kebun secara Permakultur:**

Demplot (demonstration plot) yang dirancang dengan prinsip-prinsip permakultur akan segera didirikan sebagai contoh konkret bagi petani. Demplot ini menunjukkan bagaimana kebun dapat dikelola secara efektif dengan menggunakan pendekatan permakultur, seperti stratifikasi pohon, penggunaan tanaman penutup tanah, dan integrasi tanaman pangan dengan tanaman penunjang ekosistem. Keberhasilan demplot ini diharapkan menjadi model yang dapat diadopsi oleh petani lain di daerah tersebut.

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Program pengabdian di dusun Selen Aik telah memberikan dampak positif yang signifikan terhadap peningkatan pemahaman, keterampilan, dan adopsi praktik pertanian berkelanjutan oleh petani. Permakultur sebagai solusi holistik berperan penting dalam meningkatkan kesejahteraan petani melalui teknologi dan manajemen modern sehingga mampu memberikan kontribusi positif terhadap ekonomi dan lingkungan. Melalui

pendekatan partisipatif petani mampu memahami dan mengimplementasikan strategi guna meningkatkan keberlanjutan pertanian, sekaligus menjawab tantangan perubahan iklim.

Secara keseluruhan, hasil kegiatan pengabdian ini menunjukkan kemajuan signifikan dalam kesadaran dan pemahaman petani terhadap berbagai aspek penting dalam pertanian berkelanjutan, serta penerapan praktik-praktik yang mendukung peningkatan produktivitas dan keberlanjutan lahan pertanian di Dusun Selen Aik. Ke depan, diperlukan evaluasi berkelanjutan terhadap keberhasilan demplot, khususnya dalam konteks dampak ekonomi dan ekologis yang dihasilkan. Disarankan agar kegiatan pengabdian ini dilanjutkan untuk memastikan keberlanjutan dan perluasan manfaatnya kepada komunitas lain.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada: Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, atas dukungan pendanaan bagi kegiatan pengabdian pada masyarakat dalam skema dana PNBPN 2024 ini; kelompok tani 'Tandan Hijau' atas keterbukaan mereka menerima dan menjalankan program kegiatan pengabdian ini; seluruh anggota tim pengabdian pada masyarakat PNBPN 2024 atas dukungan dan kerjasamanya pada kegiatan ini.

### Daftar Pustaka

- Bhandari, Devashish, and Bishal Bista. 2019. "Permaculture: A Key Driver for Sustainable Agriculture in Nepal." *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, vol. 7, no. 2, 27 June 2019, pp. 167–173, <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v7i2.24647>. Accessed 18 Feb. 2020.
- Gambiza 2019. "Permaculture: Challenges and Benefits in Improving Rural Livelihoods in South Africa and Zimbabwe." *Sustainability*, vol. 11, no. 8, 12 Apr. 2019, p. 2219, <https://doi.org/10.3390/su11082219>.
- Hirschfeld, Sarah, and Rene Van Acker 2019. "Permaculture Farmers Consistently Cultivate Perennials, Crop Diversity, Landscape Heterogeneity and Nature Conservation." *Renewable Agriculture and Food Systems*, 12 Feb. 2019, pp. 1–10, <https://doi.org/10.1017/s1742170519000012>.
- McLennon, Everaldo, et al. 2021. "Regenerative Agriculture and Integrative Permaculture for Sustainable and Technology Driven Global Food Production and Security." *Agronomy Journal*, vol. 113, no. 6, 22 July 2021, <https://doi.org/10.1002/agj2.20814>.
- Morel, Kevin, et al. 2019. "Permaculture." *Encyclopedia of Ecology*, vol. 4, 2019, pp. 559–567, <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10598-6>.
- Singh, Pravat, et al. 2023. "Exploring Innovation for Sustainable Agriculture: A Systematic Case Study of Permaculture in Nepal." *Heliyon*, vol. 9, no. 5, 1 May 2023, pp. e15899–e15899, [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10205509/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10205509/), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15899>. Accessed 5 Oct. 2023.