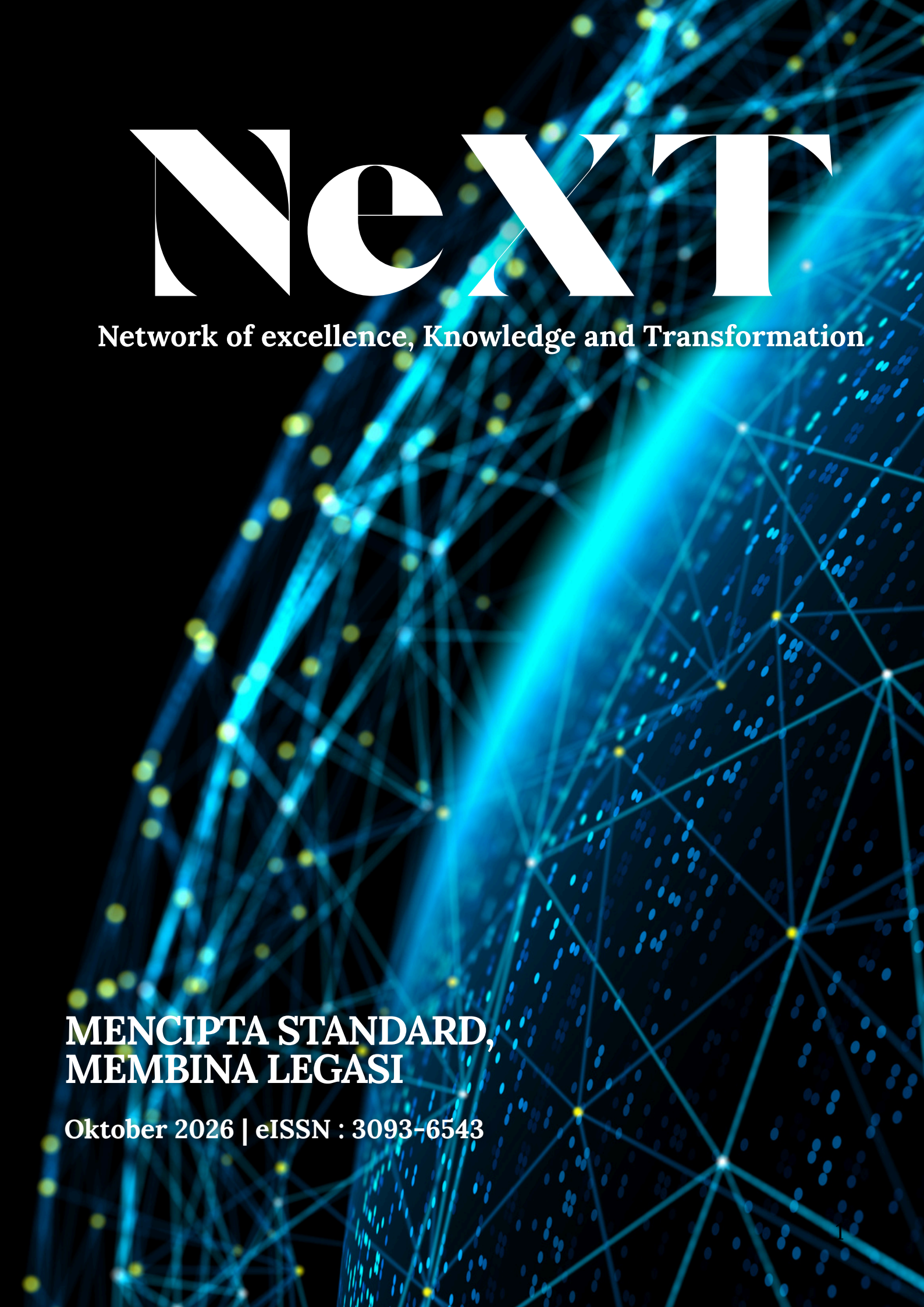


NeXT

Network of excellence, Knowledge and Transformation

MENCIPTA STANDARD, MEMBINA LEGASI

Oktober 2026 | eISSN : 3093-6543

BIODIVERSITI LESTARI DAN TRANSFORMASI DIGITAL: INTEGRASI DT3, PERTANIAN PINTAR DAN MIKROBIOLOGI ALAM SEKITAR UNTUK MENJAMIN MASA DEPAN GENERASI

Darvien Gunasekaran[1] & Aqilah Yusof[2]

[1]Pusat Pengajian Biologi, UiTM Cawangan Negeri Sembilan,
Kampus Kuala Pilah, Pekan Parit Tinggi, 72000 Kuala Pilah, Negeri Sembilan.
[2]Aerodyne Geospatial Sdn Bhd, No. 13, Jalan Cipta Serenia 1, Bandar Serenia,
43900 Sepang, Selangor.

darviensekaran@uitm.edu.my

Abstrak

Kemerosotan biodiversiti yang berpunca daripada perubahan iklim, degradasi tanah serta intensifikasi pertanian konvensional kini mengancam keselamatan makanan global dan kelestarian ekosistem. Artikel ini membincangkan pendekatan bersepadu yang menggabungkan Drone Technology, Data Technology dan Digital Transformation (DT3) bersama aplikasi mikrobiologi alam sekitar dalam menyokong pembangunan pertanian lestari. Pemanfaatan platform pertanian digital berasaskan kecerdasan buatan (AI) dan pemerhatian menggunakan kaedah geospatial membolehkan pengurusan ladang secara tepat dan berasaskan data. Tambahan pula, penggunaan probiotik fungi yang bermanfaat, ***BioLegion*** berupaya memulihkan biodiversiti mikroorganisma tanah, meningkatkan kecekapan penggunaan nutrien serta menyumbang kepada mitigasi perubahan iklim. Secara keseluruhan, integrasi ini mempunyai potensi besar dalam membina sistem pertanian yang berdaya tahan demi kesejahteraan generasi akan datang.

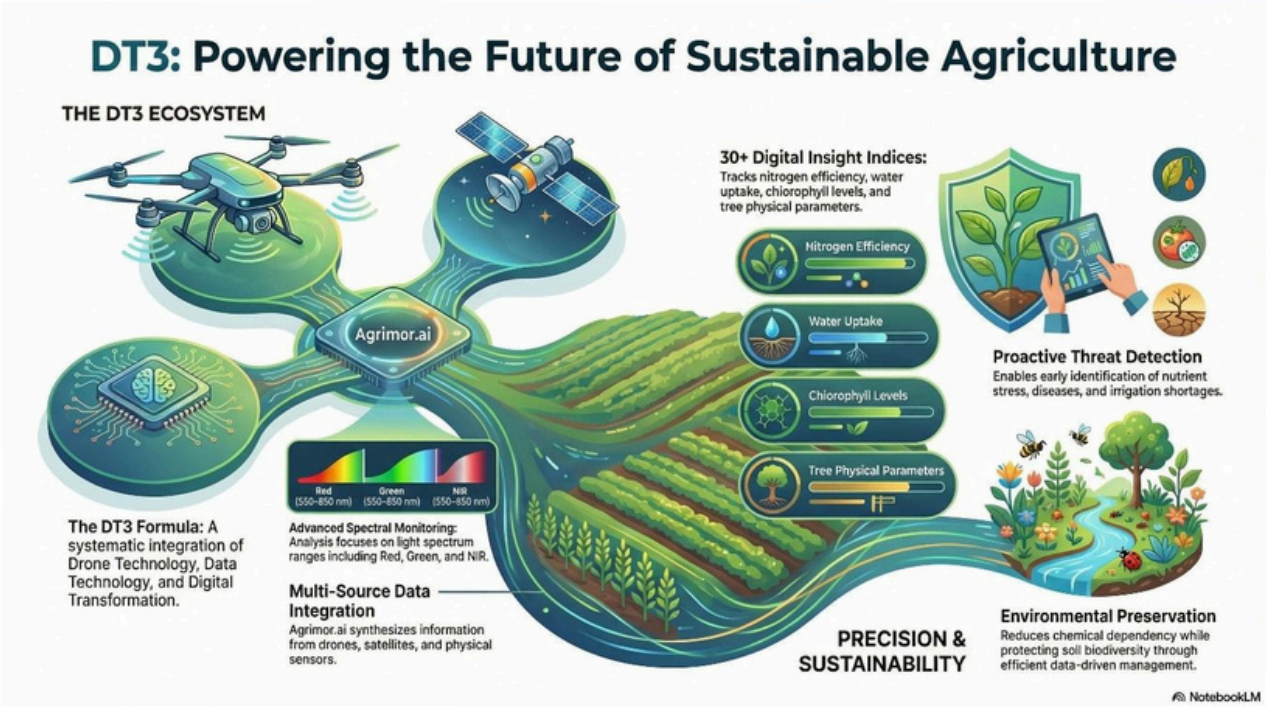
1. Pengenalan

Biodiversiti merupakan asas kepada kestabilan ekosistem dan produktiviti pertanian. Ia memainkan peranan penting dalam kitaran nutrien, pembentukan struktur tanah serta interaksi biologi antara tumbuhan dan mikroorganisma. Walau bagaimanapun, aktiviti manusia seperti pembakaran bahan api fosil, perubahan guna tanah, pertanian dan penternakan intensif serta pengurusan sisa yang tidak lestari telah mempercepatkan perubahan iklim dan kehilangan biodiversiti global (Trivedi et al., 2020; IPCC, 2023).

Dalam sektor pertanian, amalan konvensional menyebabkan kehilangan antara 40–60% nutrien baja akibat proses larut lesap, volatilisasi dan pengikatan dalam tanah. Keadaan ini bukan sahaja meningkatkan kos pengeluaran, malah memberi kesan negatif terhadap alam sekitar. Oleh itu, pendekatan baharu yang mengintegrasikan teknologi digital dan pengurusan biodiversiti mikro amat diperlukan bagi memastikan sistem makanan yang mampan dan berdaya tahan.

2. DT3 dan Transformasi Digital dalam Pertanian Lestari

DT3 merujuk kepada gabungan Drone Technology, Data Technology dan Digital Transformation yang membolehkan pemantauan, analisis serta pengurusan pertanian secara menyeluruh dan sistematik. ***Agrimor.ai*** mengintegrasikan data daripada dron, satelit dan alat pengesan untuk menghasilkan lebih 30 indeks digital, termasuk indeks kesihatan tanaman, kecekapan pengambilan nitrogen dan air, parameter fizikal pokok serta indeks klorofil (Gambar rajah 1). Indeks ini dibangunkan berdasarkan analisis spektrum cahaya seperti jalur merah, hijau dan inframerah dekat (NIR) dalam julat 550–850 nm. Pendekatan ini membolehkan pengesanan awal tekanan nutrien, serangan penyakit serta kekurangan air. Justeru, pertanian berasaskan data dapat dilaksanakan dengan lebih efisien, sekali gus mengurangkan penggunaan input kimia dan memelihara biodiversiti tanah.



Gambar rajah 1: Infografik yang menggambarkan DT3 dan transformasi digital dalam pertanian lestari. Dihasilkan menggunakan NotebookLM berdasarkan data asal penulis.

3. Mikrobiologi Alam Sekitar dan Biodiversiti Mikro Tanah

Mikrobiologi alam sekitar mengkaji peranan mikroorganisma seperti bakteria, kulat, alga dan arkea yang berinteraksi dengan tumbuhan serta persekitaran. Kajian terkini menunjukkan bahawa mikrobiom tumbuhan memainkan peranan penting dalam meningkatkan toleransi terhadap tekanan kemarau, penyakit serta perubahan iklim (Hanif et al., 2024; Trivedi et al., 2022). Perubahan iklim didapati mengubah struktur rangkaian mikrobiom pelbagai alam (bakteria, kulat dan protista), sekali gus menjejaskan kestabilan ekosistem tanah (Bazany et al., 2022). Oleh itu, pengurusan biodiversiti secara sistematik dan berasaskan bukti saintifik merupakan komponen utama dalam pelaksanaan pertanian lestari.

4. Konsortium Probiotik Fungi BioLegion sebagai Alat Pemulihan Biodiversiti

BioLegion ialah probiotik fungi yang mempunyai ketumpatan mikrob tertinggi yang dirumus secara saintifik dengan mengandungi lebih daripada 60 spesies bakteria dan lebih 10 spesies kulat bermanfaat pada kepekatan sehingga 1×10^{12} CFU/mL. Konsortium ini direka untuk berfungsi secara sinergistik melalui beberapa mekanisme utama, iaitu pelarutan fosfat (SI = 3.29), pelarutan kalium (SI = 3.63) dan penetapan nitrogen (SI = 2.58), sekali gus meningkatkan ketersediaan nutrien dalam tanah. Selain itu, BioLegion menghasilkan hormon pertumbuhan tumbuhan indole-3-acetic acid (IAA) sebanyak 20.02 ppm yang merangsang perkembangan sistem akar serta meningkatkan kecekapan penyerapan nutrien. Ia juga menghasilkan amonia sebanyak 10.30 mg/L yang menyumbang kepada dinamik nitrogen dalam rizosfera. Dari segi ketahanan persekitaran, mikroorganisma dalam BioLegion mampu bertahan pada suhu 37–40°C dan membentuk exopolysaccharides (EPS) serta biofilm yang membantu memperbaiki agregasi tanah, meningkatkan kapasiti pegangan air, menstabilkan pH dan menambah kandungan karbon organik tanah (SOC). Ciri-ciri ini menjadikan BioLegion bukan sekadar baja mikrob biasa, tetapi satu sistem biologi bersepadu untuk pemulihan biodiversiti mikro tanah, peningkatan produktiviti tanaman dan adaptasi terhadap tekanan perubahan iklim.

5. Integrasi DT3, Mikrobiologi dan Kelestarian Global

Gabungan aplikasi dron, pemantauan geospatial, dan penggunaan probiotik fungi membolehkan pemantauan kesihatan tanaman secara masa nyata, pengurusan hasil (kg/ha), serta pematuhan piawaian SDG. Pendekatan ini menyokong pengurangan pelepasan karbon, pemulihan biodiversiti tanah dan peningkatan kecekapan sumber, selari dengan SDG 2 (Kelaparan Sifar), SDG 13 (Tindakan Iklim) dan SDG 15 (Kehidupan di Darat).

6. Kesimpulan

Integrasi DT3, pertanian digital dan mikrobiologi alam sekitar menawarkan penyelesaian holistik terhadap cabaran dalam pertanian moden. Dengan memanfaatkan biodiversiti mikro tanah melalui konsortium probiotik fungi yang disokong oleh analisis data dan AI, sistem pertanian masa hadapan berupaya meningkatkan produktiviti, mengurangkan impak alam sekitar serta membina daya tahan terhadap perubahan iklim. Pendekatan ini bukan sahaja menyokong kelestarian biodiversiti, malah menjamin keselamatan makanan dan kesejahteraan generasi akan datang.

Rujukan

[1] Bazany, K. E., Wang, J. T., Delgado-Baquerizo, M., Singh, B. K., & Trivedi, P. (2022). Water deficit affects inter-kingdom microbial connections in plant rhizosphere. Environmental Microbiology, 24(8), 3722-3734.
[2] Hanif, M. S., Tayyab, M., Baillo, E. H., Islam, M. M., Islam, W., & Li, X. (2024). Plant microbiome technology for sustainable agriculture. Frontiers in Microbiology, 15, 1500260.
[3] Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2020). Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. Nature Reviews Microbiology, 18(11), 607-621.
[4] Trivedi, P., Batista, B. D., Bazany, K. E., & Singh, B. K. (2022). Plant–microbiome interactions under a changing world: responses, consequences and perspectives. New Phytologist, 234(6), 1951-1959.
[5] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva, Switzerland: IPCC.