

Journal Paper Competition Accounting Festival 2026

FYTOGEL: WEARABLE PHYTO-INTERACTION BERBASIS POLA STRES VEGETASI VIRTUAL UNTUK MODULASI EMOSI PELAJAR DAN STIMULUS EKONOMI SIRKULAR KOMPOS BIO-DIGITAL SEKOLAH

Hilmi Hafidlotus Saqofi¹ Muzidatul Khofshoh²

¹S1Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
hilmi.23062@mhs.unesa.ac.id¹

ARTICLE INFO

ABSTRACT (in English)

Article history:

Received:

Received in revised form:

Accepted:

Keywords: Biophilia, circular economy, emotional modulation, gamification, phyto-interaction.

Paper type

Research article

Urban students face increasing psychological stress and low engagement in sustainable waste management, driven by limited access to green spaces and fragmented digital well-being initiatives. This study develops and conceptually validates *FytoGel*, a bio-digital wearable system integrating phyto-interaction, virtual plant care, and micro-scale circular economy principles within a school digital ecosystem. Using a design based research and early-stage R&D approach, data were generated through literature review, system requirement analysis, and iterative conceptual modeling. System architecture, interaction flows, and symbolic reward mechanisms were developed using diagrammatic tools and low fidelity prototyping, followed by internal coherence validation across biological, digital, and behavioral components. The findings indicate that *FytoGel* produces coherent outputs in the form of system models, initial prototypes, and interaction schemes, while demonstrating that micro scale circular economy concepts can be embedded in school digital systems without significant operational burden. However, no empirical evidence of psychological effectiveness or behavioral change is provided. The study's originality lies in offering an interdisciplinary conceptual framework bridging wearable technology, phyto-interaction, and circular economy logic as a foundation for future experimental research.

PENDAHULUAN

Tingkat gangguan kesehatan mental, terutama stres dan ansietas, di perkotaan modern menunjukkan tren peningkatan yang signifikan (Kasturi *et al.*, 2023). Kontak dengan alam (*biophilia*) secara ilmiah terbukti dapat menurunkan level kortisol dan meningkatkan kondisi psikologis individu. Namun, akses terhadap ruang hijau yang memadai di lingkungan urban menjadi sangat terbatas bagi sebagian besar penduduk (Amiroh & Martana, 2023). Solusi digital seperti aplikasi meditasi telah berkembang, tetapi seringkali kurang memberikan *engagement* sensorik dan tangibilitas yang dibutuhkan (Hutauruk *et al.*, 2024). Di sisi lain, pola konsumsi masyarakat perkotaan menghasilkan limbah organik rumah tangga yang volumenya besar dan belum tertangani optimal (Tonini *et al.*, 2020). Pengelolaan sampah organik masih bersifat linier, berujung pada TPA, dan memicu emisi metana (Satriani *et al.*, 2025). Konsep ekonomi sirkular untuk sampah organik, seperti komposting, belum diadopsi secara massal karena hambatan motivasi dan sistemik (Pereira, 2024). Oleh karena itu, diperlukan inovasi yang konvergen untuk mengatasi kedua masalah tersebut kesehatan mental dan limbah organik secara simultan (Naim *et al.*, 2024).

Data prevalensi gangguan mental emosional di Indonesia menunjukkan angka yang mengkhawatirkan, dengan tekanan psikologis sebagai kontributor utama. Ruang terbuka hijau (RTH) di banyak kota besar Indonesia masih jauh di bawah standar 30% yang ditetapkan undang-undang (Mulyana *et al.*, 2025). Tren gaya hidup "*urban jungle*" dengan tanaman hias mahal pernah populer, tetapi tidak berkelanjutan dan rentan gagal karena perawatan yang salah (Ma, 2022). Mayoritas sampah di DKI Jakarta masih didominasi oleh sampah organik (sekitar 50%), yang sebagian besar tidak dipilah di sumbernya (Aprilia, 2021). Program komposting skala rumah tangga seringkali gagal karena dianggap merepotkan, berbau, dan tidak memberikan insentif langsung yang nyata (Agustin, 2022). Teknologi wearable untuk kesehatan mental umumnya terfokus pada pelacakan (*tracking*) *biometric*, bukan pada intervensi aktif berbasis sensorik (Powell, 2024). Penggunaan gamifikasi untuk perilaku pro-lingkungan telah ada, namun sering terpisah dari dampak psikologis langsung dan bentuk fisik (Sun & Xing, 2023). Terdapat kesenjangan antara kesadaran akan pentingnya kesehatan mental dan pengelolaan lingkungan dengan solusi praktis yang terintegrasi dalam kehidupan sehari-hari (Costa *et al.*, 2025).

Setiap individu, terutama di area urban, memiliki akses mudah terhadap alat yang dapat memodulasi keadaan emosionalnya secara *real time* dengan metode yang alamiah (Kapogianni & Sideraki, 2025). Terapi berbasis alam dapat diakses secara personal, portabel, dan tidak terbatas oleh ruang fisik atau waktu (Yang *et al.*, 2024). Masyarakat memiliki sistem pendukung yang memudahkan partisipasi dalam pengelolaan sampah organik secara mandiri dengan cara yang menyenangkan dan bermanfaat (Burhan, 2025). Ekonomi sirkular untuk sampah organik berjalan di level mikro (rumah tangga), mengurangi beban sistem makro dan menciptakan nilai tambah lokal (Tundjungsari *et al.*, 2025). Teknologi *wearable* berevolusi dari sekadar pelacak menjadi "*companion*" digital yang memberikan intervensi terapeutik berbasis bukti (*evidence-based*). Perilaku ramah lingkungan distimulasi bukan hanya oleh kesadaran, tetapi juga oleh mekanisme *reward* psikologis dan ekonomi yang langsung dirasakan (Zhongxi *et al.*, 2024). Inovasi teknologi dapat menyelesaikan dua masalah berbeda dengan satu solusi terintegrasi yang saling memperkuat *synergistic solution* (Tundjungsari *et al.*, 2025). Tercapai kondisi masyarakat urban yang lebih tangguh secara mental dan bertanggung jawab secara ekologis melalui desain produk dan sistem yang inklusif (Harris *et al.*, 2023).

Kebutuhan akan intervensi kesehatan mental yang mudah diakses berbenturan dengan keterbatasan ruang hijau dan biaya terapi konvensional (Alagarajah & Butler, 2024). Potensi

terapeutik dari interaksi dengan tanaman tidak dapat dinikmati oleh sebagian besar masyarakat urban yang tinggal di hunian vertikal dan padat (Kadek et al., 2025). Tingginya volume sampah organik tidak diimbangi dengan infrastruktur dan motivasi untuk pengolahan di sumber, sehingga peluang ekonomi sirkular terbuang (Lintong et al., 2025). Teknologi *wearable* kesehatan cenderung pasif dan mahal, belum menjembatani kesenjangan antara data biometric dan intervensi sensorik yang menenangkan (Ahmed et al., 2023). Program komposting yang ada gagal mengikat partisipasi jangka panjang karena tidak dirancang dengan prinsip motivasi perilaku manusia yang mendalam (Dinova et al., 2025). Inovasi di bidang kesehatan mental dan pengelolaan lingkungan masih berjalan pada jalur yang paralel dan terpisah, padahal akar masalahnya saling berkait dengan *urban stress* dan *consumption waste* (Ahmed et al., 2023). Desain solusi saat ini kurang mampu mengubah beban (*burden*) pengelolaan sampah menjadi pengalaman (*experience*) yang memberikan kepuasan psikologis (Harnita, 2025). Kesenjangan ini menciptakan ruang untuk solusi disruptif yang menggabungkan teknologi digital, prinsip biosentrik, dan model ekonomi sirkular partisipati (Hassan, 2025).

Jika masalah stres perkotaan dan penumpukan sampah organik tidak diatasi secara integratif, beban ekonomi kesehatan dan biaya pengelolaan lingkungan akan terus membengkak (Wikurendra et al., 2024). Disinsentif dari kelambanan meliputi penurunan produktivitas kerja, meningkatnya risiko penyakit terkait stres, dan degradasi lingkungan hidup yang lebih cepat (Daniels, 2024). Pemanfaatan limbah sebagai kompos skala rumah tangga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor sampah secara signifikan, mendukung target iklim nasional (Manea et al., 2024). Solusi yang diusulkan memberikan nilai (*value*) berupa intervensi kesehatan mental preventif yang proaktif, portabel, dan personal (Hickey et al., 2021). Manfaat bagi masyarakat mencakup terciptanya kebiasaan baru yang menghasilkan kepuasan psikologis (dari merawat tanaman virtual) dan kepastian kontribusi lingkungan (dari mengompos) (Mostajeran et al., 2023). Model ekonomi sirkular mikro ini dapat menciptakan mata rantai nilai baru, mulai dari pengurangan biaya angkut sampah hingga potensi penjualan kompos atau tanaman (Reza et al., 2023). Pendekatan gamifikasi dan *wearable* dapat meningkatkan literasi kesehatan mental dan lingkungan secara lebih efektif dan meluas dibandingkan kampanye konvensional (Aschentrup et al., 2024). Oleh karena itu, pengembangan solusi konvergen seperti *Fytogel* bukan hanya relevan, tetapi menjadi penting untuk membangun ketahanan masyarakat urban yang berkelanjutan (Almulhim, 2025).

MATERI DAN METODE PENELITIAN

A. Materi Penelitian

1. Konsep Dasar dan Teori Pendukung

a) Stres pada Tumbuhan dan *Biofeedback*

Penelitian membahas mekanisme respons fisiologis tumbuhan (seperti perubahan potensial listrik, emisi gas) terhadap stimulus stres, yang dapat diukur dan diinterpretasi sebagai sinyal *biofeedback* (Gloor, 2025). Konsep ini menjadi fondasi untuk mentransduksi "pola stres vegetasi" menjadi stimulus bagi pengguna. Stres pada tumbuhan merupakan respons adaptif terhadap berbagai stimulus lingkungan yang berpotensi mengganggu keseimbangan fisiologis, seperti kekeringan, fluktuasi suhu ekstrem, rangsangan mekanis, dan paparan senyawa kimia. Respons ini tidak hanya tercermin melalui perubahan morfologi atau pertumbuhan yang kasatmata, tetapi juga termanifestasi dalam sinyal fisiologis yang bersifat subtil dan terukur, termasuk variasi potensial listrik

antarjaringan serta emisi gas atau senyawa volatil spesifik. Temuan penelitian terkini menunjukkan bahwa sinyal-sinyal tersebut dapat direkam secara sistematis dan diinterpretasikan sebagai bentuk *biofeedback*, karena merepresentasikan kondisi internal dan dinamika tingkat stres tumbuhan secara *real time*.

b) Interaksi Manusia-Tumbuhan (*Phyto-Interaction*) dan Kesejahteraan

Interaksi manusia dengan tumbuhan, baik melalui kontak langsung maupun representasi digital, telah lama dikaitkan dengan peningkatan kesejahteraan psikologis. Kajian literatur mengeksplorasi dampak psikologis dari keterlibatan dengan tumbuhan, baik secara fisik maupun virtual, termasuk pengurangan stres, kecemasan, dan peningkatan mood, yang dikenal sebagai *biophilia effect* (Serra et al., 2025). Efek ini berakar pada kecenderungan afektif manusia untuk merespons secara positif keberadaan dan dinamika sistem kehidupan alami, termasuk pola pertumbuhan, perubahan kondisi, dan respons adaptif tumbuhan. Dalam konteks interaksi berbasis teknologi, pengalaman *biophilia* tidak lagi terbatas pada kehadiran fisik tanaman, tetapi dapat dimediasi melalui simulasi visual, umpan balik sensorik, dan representasi virtual yang mereplikasi karakteristik biologis tumbuhan.

c) Teknologi *Wearable* untuk Modulasi Emosi

Perkembangan teknologi *wearable* membuka peluang baru dalam modulasi emosi melalui penyampaian stimulus sensorik yang bersifat langsung dan personal kepada pengguna. Tinjauan terhadap perkembangan perangkat *wearable* yang menggunakan stimulus taktil, termal, atau visual untuk memengaruhi keadaan emosional pengguna, memberikan kerangka untuk desain antarmuka haptik *FytoGel* (Lee et al., 2024). Dalam konteks kesejahteraan, efektivitas *wearable* tidak semata ditentukan oleh kapabilitas sensorik, tetapi juga oleh desain antarmuka haptik yang mampu mentransformasikan data abstrak menjadi pengalaman sensorik yang bermakna.

d) Ekonomi Sirkular dan Kompos Digital

Konsep ekonomi sirkular menekankan pemanfaatan kembali sumber daya secara berkelanjutan melalui siklus penggunaan tertutup, termasuk pengolahan limbah organik menjadi material bernilai guna seperti kompos. Dalam konteks institusi pendidikan, penerapan ekonomi sirkular tidak hanya berfungsi sebagai solusi pengelolaan sampah, tetapi juga sebagai media pembelajaran perilaku berkelanjutan bagi pelajar. Analisis terhadap model ekonomi sirkular dalam konteks sekolah, serta integrasi teknologi (seperti *QR codes*, *blockchain*) untuk melacak dan memberi insentif pada pengelolaan sampah organik, yang mendasari sistem *reward* kompos bio-digital (Saeedi, 2024). Teknologi ini juga membuka peluang penerapan mekanisme insentif digital, di mana setiap aktivitas pengelolaan sampah organik dapat dikonversi menjadi poin, token simbolis, atau bentuk penghargaan lain dalam suatu ekosistem digital.

e) Gamifikasi dan Perilaku Pro-Lingkungan

Teori mengenai penerapan elemen permainan (*points*, *badges*, *leaderboards*) untuk mendorong perubahan perilaku berkelanjutan, khususnya di kalangan pelajar (Huang et al., 2025). Elemen-elemen tersebut bekerja dengan memadukan motivasi ekstrinsik, berupa perolehan poin dan pencapaian simbolis, dengan motivasi intrinsik, seperti rasa pencapaian, keterlibatan emosional, dan

makna personal terhadap tindakan yang dilakukan. Dalam konteks pendidikan, pendekatan ini tidak hanya meningkatkan frekuensi partisipasi siswa dalam aktivitas ramah lingkungan, tetapi juga memperkuat pemahaman dan sikap positif terhadap isu keberlanjutan, sehingga integrasi gamifikasi menjadi komponen kunci yang menjembatani sistem *reward* ekonomi sirkular bio-digital dengan keterlibatan pelajar serta memperkuat keberlanjutan interaksi dalam ekosistem *FytoGel*.

B. Metode Penelitian

1. Pendekatan dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan multidisiplin, menggabungkan bidang bioteknologi tumbuhan, ilmu komputer, psikologi kognitif, dan desain ekonomi sirkular. Desain penelitian bersifat eksploratif dan eksperimental untuk mengembangkan prototipe dan menguji efektivitasnya. Pendekatan ini memungkinkan proses iteratif antara pengembangan dan pengujian, sehingga luaran penelitian tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga aplikatif dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam konteks pendidikan dan keberlanjutan.

2. Tahapan Pengembangan *FytoGel*

Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap utama:

Tahap 1 Pemodelan Vegetasi Virtual dan Algoritma Stres

- a. Pengembangan *FytoGel* difokuskan pada pemodelan vegetasi virtual dan perancangan algoritma stres sebagai fondasi sistem interaksi bio-digital. Pada tahap ini, dikembangkan simulasi digital pertumbuhan tanaman virtual menggunakan pendekatan *agent-based modeling*, di mana setiap tanaman diperlakukan sebagai agen yang memiliki kondisi internal dan aturan respons tertentu terhadap lingkungan dan interaksi pengguna. Pendekatan ini memungkinkan tanaman virtual untuk bereaksi secara dinamis terhadap input perawatan, seperti penyiraman atau pemeliharaan rutin, maupun terhadap kelalaian pengguna, misalnya keterlambatan perawatan atau kurangnya interaksi. (Stock et al., 2024).
- b. Merancang algoritma yang menerjemahkan status tanaman virtual (misal, "terhidrasi", "terlantar") menjadi "pola stres" unik yang akan menentukan parameter umpan balik pada *wearable* (Alsanoosy & Malik, 2025). Dalam konteks *FytoGel*, pola stres vegetasi tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan parameter umpan balik pada perangkat *wearable*, seperti intensitas getaran, durasi stimulus taktil, dan variasi visual, yang dirancang untuk merefleksikan kondisi "emosional" tanaman virtual.

Tahap 2 Perancangan dan Fabrikasi Prototipe *Wearable*

- a. Merancang perangkat *wearable* (gelang) yang dilengkapi dengan aktuator haptik (getar, variasi suhu) dan panel LED mini untuk memberikan umpan balik berdasarkan pola stres vegetasi virtual. Dalam alur penelitian, prototipe ini berperan sebagai penghubung konkret antara algoritma pola stres vegetasi virtual dan pengalaman sensorik pengguna, sekaligus menjadi prasyarat penting sebelum memasuki tahap pengujian interaksi, modulasi emosi, dan keterlibatan perilaku pada fase evaluasi berikutnya.
- b. Mengembangkan antarmuka aplikasi seluler untuk visualisasi tanaman virtual,

penjadwalan perawatan, dan *dashboard* kemajuan kompos (Suhaman et al., 2023). Dalam alur penelitian, aplikasi seluler ini berfungsi sebagai pusat kontrol dan refleksi yang menghubungkan pengalaman sensorik melalui *wearable* dengan pemaknaan kognitif serta perilaku pro-lingkungan, sebelum memasuki tahap evaluasi dampak emosional dan partisipasi ekonomi sirkular.

Tahap 3 Integrasi Sistem Kompos Bio-Digital

- a. Merancang sistem di mana tindakan merawat tanaman virtual terhubung dengan insentif nyata. Pada tahap ini dirancang mekanisme yang mengaitkan tindakan perawatan tanaman virtual seperti konsistensi perawatan, respons terhadap kondisi stres vegetasi, serta pencapaian tertentu dalam aplikasi dengan pemberian insentif yang bersifat konkret dan bermakna bagi pelajar.
- b. Poin yang dikumpulkan dari aktivitas *phyto-interaction* dapat ditukar untuk memindai *QR code* pada tong kompos sekolah, yang kemudian mencatat kontribusi dan memberikan *reward* simbolis dalam ekosistem digital sekolah (Mahmudi & Mantoro, 2025). *Reward* yang diberikan bersifat simbolis dan edukatif, misalnya berupa peningkatan level, lencana keberlanjutan, atau bentuk pengakuan kontribusi lainnya, sehingga menekankan nilai partisipasi dan tanggung jawab kolektif alih-alih insentif material semata.

3. Metode Pengumpulan dan Analisis Data

a. Uji Coba dan Validasi

Uji coba prototipe *FytoGel* direncanakan melibatkan pelajar SMA, dengan pertimbangan karakteristik perkembangan kognitif dan emosional yang adaptif terhadap teknologi digital serta relevan dengan tujuan modulasi emosi dan pembentukan perilaku berkelanjutan. Pada tahap penelitian ini, validasi difokuskan pada validitas konseptual dan desain. Validitas isi terhadap modul vegetasi virtual, alur interaksi, dan mekanisme *reward* direncanakan melalui *expert judgment* dari pakar pendidikan, teknologi *wearable*, dan psikologi. Pengujian validitas konstruk dan reliabilitas instrumen (menggunakan koefisien Cronbach's Alpha) direncanakan pada tahap penelitian lanjutan. Dengan demikian, uji coba dalam penelitian ini diposisikan sebagai kerangka validasi awal, sementara pengujian empiris terhadap efektivitas psikologis dan perilaku menjadi agenda riset berikutnya.

b. Instrumen

Data dikumpulkan menggunakan kuesioner terstandar, seperti *Positive and Negative Affect Schedule* (PANAS), untuk mengukur perubahan afek sebelum dan sesudah interaksi, serta wawancara mendalam guna menangkap persepsi subjektif pengguna. Variabel pola stres vegetasi virtual direkam melalui log algoritmik sistem, termasuk perubahan visual tanaman (warna, tingkat kelayuan) dan parameter pertumbuhan yang dihasilkan dari respons interaksi pengguna, yang kemudian dikorelasikan secara deskriptif dengan skor emosi pengguna. Untuk variabel ekonomi sirkular kompos bio-digital, data diperoleh dari log aktivitas aplikasi, meliputi jumlah kompos digital yang dihasilkan, ditukar, dan frekuensi partisipasi pengguna, serta kuesioner niat berperilaku pro-lingkungan. Analisis dilakukan secara deskriptif dan dilengkapi dengan analisis korelasi sederhana antara tingkat keterlibatan dalam sistem *FytoGel* dan skor niat perilaku ekonomi sirkular, guna mengidentifikasi kecenderungan hubungan awal

antarvariabel (Morris et al., 2025).

c. **Analisis Data**

Data kuantitatif dianalisis secara statistik (*uji-t berpasangan*) untuk melihat perbedaan signifikan dalam skor afektif. Data kualitatif dari wawancara dianalisis secara tematik untuk memahami pengalaman pengguna (Obakhavbaye, 2025). Data partisipasi ekonomi sirkular dianalisis secara deskriptif untuk melihat tren keterlibatan. Kombinasi ketiga pendekatan analisis tersebut memungkinkan pemahaman yang komprehensif dan mudah dipahami mengenai dampak emosional, pengalaman pengguna, serta implikasi perilaku berkelanjutan dari implementasi *FytoGel* di lingkungan sekolah.

4. **Hipotesis Penelitian**

Pengembangan Hipotesis

Berdasarkan kajian teori dan kerangka konseptual, dirumuskan hipotesis bahwa:

- a. Interaksi melalui *FytoGel* yang memberikan umpan balik haptik berdasarkan pola stres vegetasi virtual dapat secara signifikan menurunkan skor afek negatif (seperti cemas, jenuh) dan meningkatkan skor afek positif pada pelajar dalam konteks sekolah. Hipotesis ini sejalan dengan teori biophilia dan kajian teknologi afektif yang menunjukkan bahwa paparan elemen alami, baik dalam bentuk nyata maupun virtual, serta stimulus haptik terkontrol dapat memberikan dampak positif terhadap keadaan emosional. Dengan demikian, *FytoGel* diposisikan tidak hanya sebagai media interaksi digital, tetapi juga sebagai bentuk intervensi mikro berbasis teknologi yang berpotensi mendukung kesejahteraan emosional pelajar dalam aktivitas pembelajaran sehari-hari
- b. Integrasi sistem *reward* ekonomi sirkular bio-digital (kompos sekolah) dapat meningkatkan motivasi intrinsik dan ekstrinsik pelajar untuk terlibat dalam aktivitas *phyto-interaction* secara berkelanjutan, sekaligus meningkatkan kesadaran dan partisipasi dalam pengelolaan sampah organik di sekolah (Ryan et al., 2020). Dalam kerangka *FytoGel*, keterkaitan antara interaksi emosional dengan tanaman virtual dan sistem *reward*. Dengan demikian, hipotesis ini menegaskan bahwa pendekatan terpadu antara teknologi interaktif dan ekonomi sirkular berkontribusi pada peningkatan kesadaran serta partisipasi aktif pelajar dalam pengelolaan sampah organik di lingkungan sekolah.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

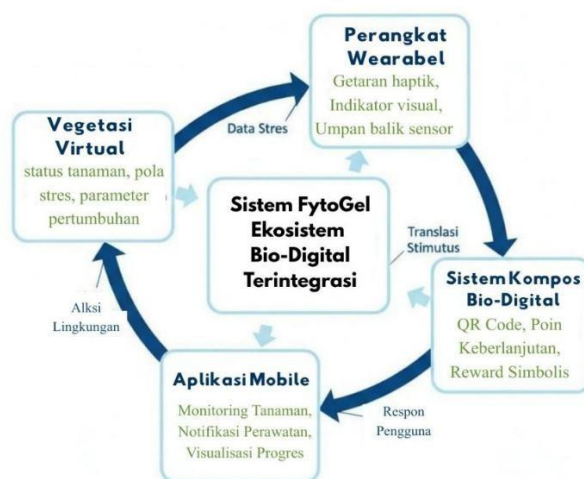
1. Hasil Pengembangan Sistem *FytoGel*

Penelitian ini menghasilkan rancangan sistem *FytoGel* sebagai ekosistem bio-digital terintegrasi yang terdiri atas tiga komponen utama, yaitu vegetasi virtual berbasis pola stres, perangkat *wearable* dengan umpan balik haptik dan visual, serta sistem kompos bio-digital berbasis insentif simbolis di lingkungan sekolah (Ying, 2024). Integrasi ketiga komponen tersebut dirancang untuk membentuk alur interaksi yang menghubungkan pengalaman emosional personal dengan perilaku pro-lingkungan secara sistemik (Mariya et al., 2024). Mekanisme modulasi emosi dalam *FytoGel* dikonsepsikan berlangsung melalui dua jalur utama. Pertama, jalur kesadaran diri (*self-awareness*), di mana perubahan visual pada vegetasi virtual merepresentasikan pola stres pengguna secara simbolik. Representasi ini berfungsi sebagai bentuk *biofeedback tidak langsung* yang mendorong refleksi emosional tanpa konfrontasi klinis. Kedua, jalur regulasi afektif pasif, yang diasumsikan muncul melalui interaksi berulang dengan elemen vegetatif virtual yang menenangkan, sejalan dengan

prinsip *Attention Restoration Theory* dan konsep *digital biophilia*, di mana paparan simbolik terhadap alam dapat membantu pemulihan kapasitas atensi dan penurunan ketegangan psikologis. Pendekatan pengembangan ini selaras dengan karakteristik penelitian *Research and Development* tahap awal yang menitikberatkan pada validasi desain, koherensi antarkomponen, serta kelayakan konseptual sistem sebelum dilakukan pengujian empiris pada pengguna akhir (Ade Rahayu, 2025). Dengan demikian, temuan pada tahap ini merepresentasikan keluaran berupa model sistem, skema interaksi, dan hipotesis mekanisme psikologis yang akan diuji secara empiris pada penelitian lanjutan.

Gambar 1: Diagram arsitektur sistem *FytoGel* yang menunjukkan hubungan antara vegetasi virtual, *wearable*, aplikasi seluler, dan sistem kompos bio-digital.

Arsitektur Sistem *FytoGel* Berbasis Ekosistem Bio-Digital



Sumber : Penulis, 2026

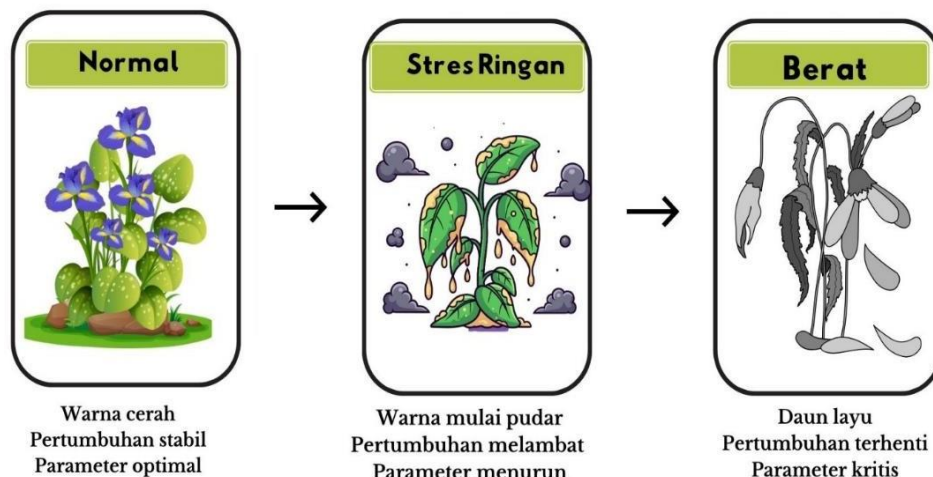
2. Hasil Pemodelan Vegetasi Virtual Berbasis Pola Stres

Hasil pengembangan pada tahap pertama menunjukkan bahwa vegetasi virtual dapat dimodelkan sebagai agen dinamis yang memiliki status internal beragam, seperti kondisi terhidrasi, terawat, maupun mengalami stres akibat kelalaian perawatan (Nurlina et al., 2024). Status internal tersebut direpresentasikan melalui parameter visual dan numerik yang mengalami perubahan secara gradual, sehingga secara simbolik namun konsisten mencerminkan dinamika biologis tanaman (Kasim et al., 2024). Status internal tersebut direpresentasikan melalui parameter visual dan numerik yang mengalami perubahan secara gradual, sehingga secara simbolik namun konsisten mencerminkan dinamika biologis tanaman (Morales et al., 2025). Pola stres vegetasi virtual selanjutnya dirumuskan sebagai variabel kunci yang menjembatani kondisi tanaman virtual dengan sistem umpan balik sensorik pada perangkat *wearable*. Pendekatan ini tidak bertujuan untuk mereplikasi fisiologi tumbuhan secara biologis penuh, melainkan untuk menghadirkan representasi yang cukup intuitif dan bermakna bagi pengguna dalam konteks interaksi emosional dan pembelajaran perilaku. Dengan demikian, pola stres vegetasi virtual dalam sistem *FytoGel* berfungsi sebagai mekanisme inti yang mentransformasikan interaksi pengguna menjadi stimulus emosional serta mendorong keterlibatan berkelanjutan dalam skema ekonomi sirkular kompos bio-digital di lingkungan sekolah.

Gambar 2: Ilustrasi perubahan status tanaman virtual (normal, stres ringan, stres berat) beserta parameter internalnya.

Model Status dan Pola Stres Vegetasi Virtual

Perubahan Status Berdasarkan Interaksi Pengguna



Sumber : Penulis, 2026

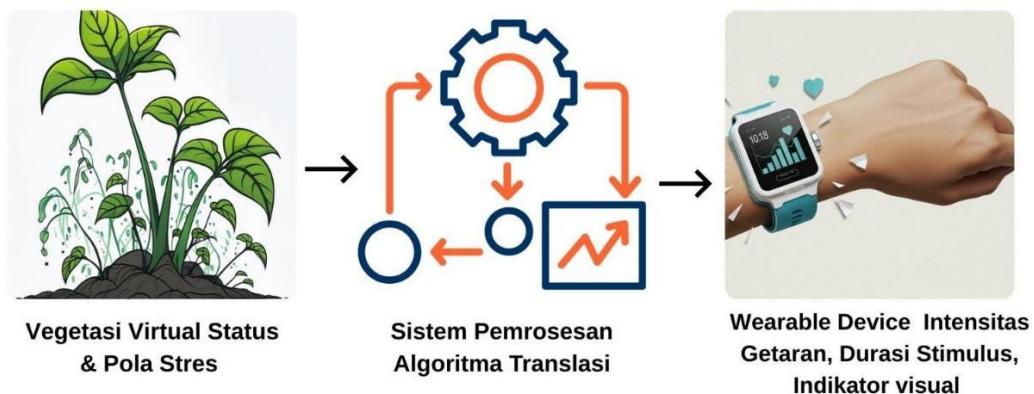
3. Hasil Perancangan Translasi Pola Stres ke Stimulus Wearable

Pola stres vegetasi virtual yang dihasilkan dari algoritma pemodelan selanjutnya ditranslasikan ke dalam stimulus sensorik pada perangkat *wearable*, yang mencakup variasi intensitas getaran, durasi stimulus taktil, serta perubahan visual pada panel LED (Wang et al., 2023). Translasi ini dirancang berdasarkan prinsip kesesuaian afektif (*affective congruence*), di mana kondisi stres tanaman direpresentasikan melalui stimulus yang bersifat halus, ritmis, dan tidak invasif, sehingga tidak memicu overstimulasi pada pengguna (Schwartz et al., 2025). Secara operasional, status stres “rendah” dipetakan ke getaran berdurasi pendek dengan intensitas rendah ($\pm 20\text{--}30\%$) disertai cahaya LED hijau yang berkedip lembut, sementara status stres “sedang” direpresentasikan melalui getaran ritmis dengan intensitas menengah ($\pm 50\%$) dan LED kuning, serta status stres “tinggi” ditranslasikan menjadi getaran berulang dengan intensitas tinggi ($\pm 70\text{--}80\%$) dan cahaya LED merah yang stabil. Hasil perancangan menunjukkan bahwa hubungan satu-arah dari status vegetasi virtual ke parameter stimulus *wearable* dapat dirumuskan secara konsisten dan dapat direplikasi, sehingga memungkinkan pengembangan sistem yang stabil sebelum tahap evaluasi emosional pada pengguna (van Wegen et al., 2023). Pada tahap ini, keberhasilan tidak diukur dari respons psikologis pengguna, melainkan dari kejelasan logika translasi dan keterpaduan antarmuka bio-digital yang dihasilkan.

Gambar 3: Skema translasi pola stres vegetasi virtual ke parameter stimulus *wearable* (getaran, durasi, visual).

Skema Translasi Pola Stres Tanaman ke Stimulus Wearable

semakin tinggi stress semakin kuat stimulus



Sumber : Penulis, 2026

4. Hasil Perancangan Antarmuka Aplikasi dan Alur Interaksi Pengguna

Antarmuka aplikasi seluler *FytoGel* dirancang untuk memvisualisasikan kondisi tanaman virtual, menyampaikan notifikasi perawatan, serta menampilkan progres kontribusi pengguna dalam sistem kompos bio-digital. (Haikal et al., 2024). Visualisasi tanaman sehat dan tanaman yang mengalami stres ditampilkan melalui perubahan warna, tekstur, dan animasi pertumbuhan yang kontras, sehingga secara sengaja dirancang untuk memicu respons emosional seperti empati, kepedulian, dan rasa tanggung jawab terhadap kondisi vegetasi virtual. Notifikasi perawatan disajikan dalam bentuk pesan kontekstual yang menekankan urgensi ringan namun persuasif, sementara indikator progres kompos ditampilkan sebagai akumulasi poin atau kredit simbolis yang merefleksikan kontribusi pengguna terhadap pengelolaan sampah organik sekolah. Hasil perancangan menunjukkan bahwa aplikasi berfungsi sebagai lapisan kognitif yang membantu pengguna memaknai stimulus sensorik dari *wearable* dalam konteks perawatan tanaman dan tanggung jawab lingkungan (Wu et al., 2025). Elemen antarmuka yang menampilkan capaian kontribusi, seperti peningkatan level tanaman atau pencapaian tertentu, dirancang untuk menumbuhkan perasaan kebanggaan dan pencapaian, sekaligus mengartikulasikan nilai ekonomi sirkular dengan mengaitkan poin atau kredit kompos terhadap dampak lingkungan yang terukur, seperti jumlah sampah organik yang dialihkan dari limbah. Alur interaksi pengguna disusun secara bertahap, dimulai dari pengamatan kondisi tanaman virtual, respons terhadap sinyal stres, hingga keterkaitan tindakan tersebut dengan sistem *reward* simbolis. Struktur ini bertujuan menciptakan pengalaman yang kohesif antara persepsi emosional, refleksi kognitif, dan potensi perubahan perilaku, meskipun efektivitas alur tersebut masih memerlukan validasi empiris pada tahap penelitian selanjutnya (Lu et al., 2025).

Gambar 4: Tampilan *mock-up* antarmuka aplikasi *FytoGel* dan alur interaksi pengguna.



Sumber : Penulis, 2026

5. Hasil Perancangan Sistem Kompos Bio-Digital dan Reward Simbolis

Hasil pengembangan pada tahap integrasi menunjukkan bahwa sistem kompos bio-digital dapat dirancang sebagai ekstensi dari interaksi *phyto-interaction*, di mana aktivitas perawatan tanaman virtual dikaitkan secara konseptual dengan kontribusi nyata dalam pengelolaan sampah organik (Onur et al., 2024). Mekanisme *reward* yang digunakan bersifat simbolis dan edukatif, seperti poin keberlanjutan dan lencana partisipasi, sehingga menekankan nilai pembelajaran dan tanggung jawab kolektif dibandingkan insentif material langsung (Vargas et al., 2025). Perancangan ini memperlihatkan bahwa ekonomi sirkular mikro dapat diintegrasikan secara konseptual ke dalam ekosistem digital sekolah tanpa menambah beban operasional yang signifikan. Namun demikian, dampak sistem *reward* ini terhadap motivasi dan konsistensi partisipasi pelajar belum dapat disimpulkan pada tahap penelitian ini dan direncanakan menjadi fokus pengujian empiris lanjutan (Oliveira & Souza, 2021).

Gambar 5: Diagram alur sistem *reward* kompos bio-digital berbasis QR code dan poin simbolis



Sumber : Penulis, 2026

6. Pembahasan Keterbatasan dan Status Hasil Penelitian

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa FytoGel telah mencapai tahap pengembangan desain dan validasi konseptual yang koheren antar komponen sistem. Seluruh temuan pada bagian hasil merepresentasikan keluaran berupa artefak desain, model konseptual, prototipe awal, serta skema interaksi, dan belum dimaksudkan sebagai bukti efektivitas psikologis maupun perubahan perilaku pada pelajar (Tarigan et al., 2025). Ketiadaan uji empiris pada pengguna akhir merupakan batasan utama penelitian ini, namun selaras dengan pendekatan *Design Science Research* yang menekankan pentingnya perumusan artefak, prinsip desain, dan logika sistem yang solid sebagai prasyarat sebelum dilakukan evaluasi empiris dan pengujian dampak secara terstandar. Dengan demikian, FytoGel diposisikan sebagai fondasi awal yang valid secara konseptual untuk penelitian lanjutan berbasis eksperimen, evaluasi psikologis, dan pengukuran efektivitas intervensi secara kuantitatif (Carfagni et al., 2020).

KESIMPULAN

Penelitian Penelitian ini menyimpulkan bahwa FytoGel berhasil dikembangkan sebagai model dan prototipe konseptual ekosistem bio-digital yang mengintegrasikan vegetasi virtual berbasis pola stres, perangkat *wearable* dengan umpan balik sensorik, serta sistem kompos bio-digital berbasis insentif simbolis dalam konteks sekolah. Kontribusi utama penelitian terletak pada perumusan kerangka desain dan alur interaksi yang koheren antara modulasi emosi berbasis prinsip *biophilia* dan stimulasi perilaku pro-lingkungan melalui pendekatan ekonomi sirkular mikro. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi lintas domain bioteknologi tumbuhan, teknologi *wearable*, dan desain sistem perilaku dapat diwujudkan secara konseptual dan teknis sebagai fondasi awal pengembangan solusi konvergen untuk isu kesehatan mental dan pengelolaan limbah organik di lingkungan urban.

Secara teoretis, FytoGel menawarkan pendekatan bio-digital hybrid dalam interaksi manusia teknologi dengan memadukan konsep *biophilia*, *embodied interaction*, dan *affective computing*. Representasi stres pada vegetasi virtual berfungsi sebagai medium simbolik dan sensorik yang membantu proses modulasi emosi serta pembentukan makna terhadap perilaku berkelanjutan (Bratman et al., 2019). Pendekatan ini memperluas kerangka *Human Computer Interaction* (HCI) berbasis emosi dengan menempatkan entitas vegetasi virtual sebagai *affective mediator* dalam sistem *wearable*, bukan sekadar elemen visual atau mekanisme gamifikasi, sehingga memperkaya landasan teoretis teknologi kesejahteraan digital berbasis alam (Chinnaraju, 2025).

Dari sisi praktis, model FytoGel berpotensi untuk diadaptasi dan diuji lebih lanjut melalui studi eksperimental menggunakan instrumen psikologis terstandar guna mengevaluasi dampak emosional, motivasi, dan partisipasi lingkungan pelajar. Keberlanjutan implementasi sistem dapat didukung melalui desain *wearable* berbiaya rendah, integrasi dengan kurikulum sekolah serta program lingkungan yang telah ada, dan pelatihan guru sebagai fasilitator ekosistem bio-digital. Penelitian lanjutan disarankan untuk memvalidasi efektivitas sistem, mengembangkan algoritma adaptif berbasis data pengguna, serta mengeksplorasi model intervensi mikro berbasis *wearable* dan ekonomi sirkular sebagai pendekatan baru dalam pendidikan dan kesejahteraan perkotaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Rahayu. (2025). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D) : Pengertian, Jenis dan Tahapan. *DIAJAR: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*, 4(3), 459–470. <https://doi.org/10.54259/diajar.v4i3.5092>.
- Agustin, R. (2022). *Tantangan dan Potensi Pengelolaan Sampah Organik Skala Rumah Tangga dan Komunitas untuk Penguatan Sistem Pangan Kota Yogyakarta*. https://www.switch-asia.eu/site/assets/files/3571/rekomendasi_strategi_pengelolaan_sampah.pdf
- Ahmed, A., Aziz, S., Alzubaidi, M., Schneider, J., Irshaidat, S., Abu, H., Abd-alrazaq, A. A., Solaiman, B., & Househ, M. (2023). Computer Methods and Programs in Biomedicine Update Wearable devices for anxiety & depression : A scoping review. *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, 3(January), 100095. <https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2023.100095>
- Alagarajah, J., & Butler, S. (2024). *Digital mental health interventions for treating mental disorders in young people based in low- and middle-income countries : A systematic review of the literature*. <https://doi.org/10.1017/gmh.2024.71>
- Almulhim, A. I. (2025). *Building Urban Resilience Through Smart City Planning : A Systematic Literature Review*. 1–30. <https://doi.org/10.3390/smartcities8010022>
- Alsanoosy, T., & Malik, J. A. (2025). *Predicting plant stress using SAM-L : novel self-adaptive-meta learner with XAI based on soil moisture and chlorophyll analysis*. 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-26184-w>
- Amiroh, N., & Martana, S. P. (2023). *Penerapan Tanaman Aromatik Melalui Pendekatan Arsitektur Biofilik dalam Mengatasi Urban Stres*. 1–8. <https://doi.org/10.32315/ti.11.g001>
- Aprilia, A. (2021). *Waste Management in Indonesia and Jakarta : Challenges and Way Forward*. October. <https://asef.org/wp-content/uploads/2022/01/ASEFSU23>.
- Aschentrup, L., Steimer, P. A., Dadaczynski, K., Call, T. M., & Fischer, F. (2024). Effectiveness of gamified digital interventions in mental health prevention and health promotion among adults : a scoping review. *BMC Public Health*, 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-17517-3>
- Bratman, G. N., Anderson, C. B., Berman, M. G., Cochran, B., Lindahl, T., Meyer-lindenberg, A., Mitchell, R., Ouyang, Z., Roe, J., Scarlett, L., Smith, J. R., Bosch, M. Van Den, Wheeler, B. W., White, M. P., Zheng, H., & Daily, G. C. (2019). *Nature and mental health : An ecosystem service perspective*. July. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0903>
- Burhan, L. I. (2025). *Inovasi Bank Sampah Digital Berbasis Ekonomi Sirkular untuk Meningkatkan Partisipasi dan Pemilahan Sampah : Sebuah Pendekatan Participatory Action Research*. 1(4), 9–21. <https://doi.org/10.63982/dharmabakti.edkat544>
- Carfagni, M., Fiorineschi, L., Furferi, R., Governi, L., & Rotini, F. (2020). Usefulness of prototypes in conceptual design : students ' view. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14(4), 1305–1319. <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00697-2>
- Chinnaraju, A. (2025). *Emotion-Aware AI For Learning And Organizations : An Affective Computing Framework For Adaptive Human-AI Interaction*. 13(4). <https://doi.org/10.56975/ijedr.v13i4.302939>
- Costa, R. De, Ferrara, I., Toplak, M., Alam, A., Bowie, R., & Burnett, A. (2025). Behavioural insights and environmental sustainability : Key findings and policy implications from a systematic review ☆. *Journal of Environmental Management*, 390(August 2024), 126118. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126118>
- Daniels, S. (2024). *How workplace stress , building conditions , and employee health are intertwined – literature review*. Xx(1), 34–47. <https://doi.org/10.2478/raft-202>

- Design, V., Harris, E., Franz, A., & Hara, S. O. (2023). *Promoting Social Equity and Building Resilience through Value-Inclusive Design*. <https://doi.org/10.3390/buildings13082081>
- Dinova, A. A., Ayu, G., & Werastiari, H. (2025). *Empowerment of Housewives through Compost Making Training for Organic Waste Management using the Takakura Method in Bebandem Village, Karangasem*. 4(11), 3083–3093. <https://doi.org/10.55324/josr.v4i10.2836>
- Gloor, P. A. (2025). *Plant Bioelectrical Signals for Environmental and Emotional State Classification*. 1–17. <https://doi.org/10.3390/bios15110744>
- Haikal, © 2024 Fikri, Setywan, E., Atmadji, J., Kautsar, S., Wibowo, N. S., Haikal, F., & Setyo Wibowo, N. (2024). *OPEN ACCESS Sistem Monitoring Berat Tanaman Pada Farmbot Dengan Citra Digital Menggunakan Metode YOLO dan Regresi Polinomial Plant Weight Monitoring System on Farmbot with Digital Images Using the YOLO Method and Polynomial Regression*. 24(2), 122–126. <https://doi.org/10.25047/jii.v24i2.4542>
- Harnita, N. (2025). *Community participation in sustainable solid waste management at the household level*. 2(1), 72–91. <https://doi.org/10.61511/wass.v2i1.2025.1981>
- Hassan, O. M. (2025). *Integrated digital, biological, and human capital innovations for circular and sustainable waste management: a critical review*. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07904-3>
- Hickey, B. A., Chalmers, T., Newton, P., Lin, C., Sibbritt, D., Mclachlan, C. S., Clifton-bligh, R., Morley, J., & Lal, S. (2021). *Smart Devices and Wearable Technologies to Detect and Monitor Mental Health Conditions and Stress: A Systematic Review*. 1–17. <https://doi.org/10.3390/s21103461>
- Huang, Z., Huang, J., & Han, Z. (2025). *Online Environmental Gamification and University Students' Pro-Environmental Organizational Citizenship Behaviour: Evidence for a Dual Motivational Mechanism*. <https://doi.org/10.3390/su172411038>
- Hutauruk, T., Ginting, B., Simanullang, S., Tinggi, S., & Baptis, T. (2024). *Kontemplasi spiritual bagi mahasiswa seminary*. 4(2), 1–15. <https://www.academia.edu/download/121634164/1. Kontemplasi Spiritual bagi Mahasiswa Seminary dalam Menghadapi Distraksi Digital.pdf>
- Kadek, N., Kadek, A. I., Ni, P., Sri, M., & Trisna, W. (2025). *Implementasi Tema Sanctuary dan Wellness Berbasis EBD untuk Meningkatkan Pelayanan Puskesmas 1 Baturiti*. 11, 32–41. <https://doi.org/10.34010/wcr.v11i1.15676>
- Kapogianni, N., & Sideraki, A. (2025). *Using Smartwatches in Stress Management, Mental Health, and Well-Being: A Systematic Review*. <https://doi.org/10.3390/a18070419>
- Kasim, R., Pagewang, Y. B., Remak, Y., & Pangau, G. K. (2024). *Simulasi Sistem Kontrol Dan Monitoring Tanaman Hidroponik Berbaris Arduino Menggunakan Proteus*. *Indonesian Journal of Intelligence Data Science*, 3(2), 14–22. <https://doi.org/10.35799/ijids.v3i2.60427>
- Kasturi, S., Oguoma, V. M., Grant, J. B., Niyonsenga, T., & Mohanty, I. (2023). *Prevalence Rates of Depression and Anxiety among Young Rural and Urban Australians: A Systematic Review and*. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010800>
- Lee, S., Jang, S., & Cha, Y. (2024). *iScience*. *ISCIENCE*, 27(12), 111303. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111303>
- Lintong, E. H., Agnes, D., Juita, P., Runtuwene, H. C. M., & Tomohon, K. I. (2025). *Circular economy-based waste management in tomohon city: toward a green economy through innovative and*. 9(4), 1503–1514. <https://doi.org/10.36526/js.v3i2.5845>
- Lu, G., Qu, S., & Chen, Y. (2025). *Understanding user experience for mobile applications: a systematic literature review*. *Discover Applied Sciences*, 7(6).

<https://doi.org/10.1007/s42452-025-07170-3>

- Ma, J. (2022). *Interaction with Nature Indoor : Psychological Impacts of Houseplants Care Behaviour on Mental Well-Being and Mindfulness in Chinese Adults*. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315810>
- Mahmudi, A. M., & Mantoro, T. (2025). *User-Centric Waste Management Through Reward-Based Digital Systems*. 26(1), 367–375. <https://doi.org/10.51967/tanesa.v26i1.3380>
- Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). *Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste Management : Current Practices and Potential Improvements*. 1–25. <https://doi.org/10.3390/su16156329>
- Mariya, D., Suwono, H., & Husamah, H. (2024). *Human connection with nature improves wellbeing and pro-environmental behavior : A literature review*. 10(2), 698–713. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i2.32674>
- Morales, A., Kottelenberg, D. B., Ernst, A., Vezy, R., & Evers, J. B. (2025). *Functional – Structural Plant Models The Virtual Plant Laboratory : a modern plant modelling framework in Julia*. April. <https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diaf005>
- Morris, M. E., Qiu, S., Ruan, C., & Wang, Y. (2025). *Anxiety relief in the post-pandemic era : a randomized trial on the integration of digital technology into dance art healing*. May, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1545461>
- Mostajeran, F., Steinicke, F., Reinhart, S., Stuerzlinger, W., Riecke, B. E., & Kühn, S. (2023). *Adding virtual plants leads to higher cognitive performance and psychological well - being in virtual reality*. *Scientific Reports*, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34718-3>
- Mulyana, R., Sutrisna, P., Rahman, P. P., Padjarajani, S., & Darmawan, C. (2025). *Analisis Persebaran Ruang Terbuka Hijau (RTH) Di Pusat Kota Tasikmalaya Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) Studi Kasus : Kecamatan Cihideung Dan Kecamatan Tawang*. 4(2), 438–446. <https://doi.org/10.37905/geojg.v4i2.35755>
- Naim, A., Daryanto, W. M., Fairina, Y., & Wulaningsih, D. U. (2024). *Pemanfaatan Teknologi Breakthrough Innovation Enzim dalam Mengoptimalkan Pengelolaan Limbah Organik*. 6(2). <https://doi.org/10.32924/jscd.v6i2.129>
- Nurlina, N., Utomo, D. S., Setiyawati, T. R., & Muqorobin, M. M. (2024). *Agent-Based Modeling and Simulation for Farmer Decision Making*. *Jurnal Teknik Industri*, 25(2), 119–130. <https://doi.org/10.22219/jtiumm.vol25.no2.119-130>
- Obakhavbaye, M. (2025). *Social Sciences & Humanities Open Inclusive circular economy : Promoting young adult ' s participation through citizen inquiry and creative participatory research methods in a developing country*. *Social Sciences & Humanities Open*, 12(June), 101841. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101841>
- Oliveira, R. P., & Souza, C. G. De. (2021). *Gamification in E-Learning and Sustainability : A Theoretical Framework*. <https://doi.org/10.3390/su132111945>
- Onur, N., Alan, H., & Demirel, H. (2024). *Digitalization and Digital Applications in Waste Recycling : An Integrative Review*. 1–26. <https://doi.org/10.3390/su16177379>
- Pereira, V. R. (2024). *Opportunities and Barriers to Composting in a Municipal Context : A Case Study in São José dos Campos , Brazil*. <https://doi.org/10.3390/su16083359>
- Powell, D. (2024). *Walk , talk , think , see and feel : harnessing the power of digital biomarkers in healthcare*. 1–3. <https://doi.org/10.1038/s41746-024-01023-w>
- Reza, M. A., Basunjaya, B. L., Hukom, A., Zakiah, W., & Neneng, S. (2023). *Daur Ulang Limbah Organik Menjadi Barang yang Bernilai Ekonomis di Kameloh Baru , Palangka Raya*. 1(6), 538–543. <https://doi.org/10.59837/jpmba.v1i6.201>

- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). *Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: definitions, theory, practices, and future directions*. *Contemporary Educational Psychology*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>
- Saeedi, K. (2024). *Promoting Sustainable Household Engagement in Recycling via Blockchain-Based Loyalty Program*. <https://doi.org/10.3390/su16219191>
- Satriani, E., Putra, R. I., Herizon, M., & Utama, S. P. (2025). *Studi Literatur : Pencemaran TPA Air Sebakul dan Pemanfaatan Sampah Organik Rumah Tangga dengan Biogas*. 4(3), 354–366. <https://doi.org/10.55123/insologi.v4i3.5336>
- Schwartz, N., Snir, A., & Amedi, A. (2025). Feeling the music: exploring emotional effects of auditory-tactile musical experiences. *Frontiers in Virtual Reality*, 6(October), 1–14. <https://doi.org/10.3389/frvir.2025.1592652>
- Serra, H., Zavattaro, C., Eid, M., Farina, P., Abbatescianna, D., Cirillo, E., Gammeri, R., Celi, L., Scariot, V., & Ricci, R. (2025). *Biophilic interventions in real and virtual environments reduce stress during cognitively demanding tasks*. 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-23224-3>
- Stock, M., Pieters, O., & Swaef, T. De. (2024). *Plant science in the age of simulation intelligence*. *January*, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1299208>
- Suhaman, J., Sari, T., Kamandanu, K., Aulianti, D., Adhi, M., & Amartiwi, U. (2023). *Smart Plant : A Mobile Application for Plant Disease Detection*. 2(May 2022), 52–57. <https://doi.org/10.53889/gmpics.v2.173>
- Sun, Y., & Xing, J. (2023). *The Impact of Gamification Motivation on Green Consumption Behavior — An Empirical Study Based on Ant Forest*. <https://doi.org/10.3390/su15010512>
- Tarigan, J. T., Zendrato, N., & Isaias, P. (2025). *Learn , Earn , and Game on : Integrated Reward Mechanism Between Educational and Recreational Games*. 1–18. <https://doi.org/10.3390/educsci15091202>
- Tonini, D., Wandl, A., Meister, K., Muñoz, P., Ellen, S., Sanjuan-delmas, D., Dewulf, J., & Huygens, D. (2020). Resources , Conservation & Recycling Quantitative sustainability assessment of household food waste management in the Amsterdam Metropolitan Area. *Resources, Conservation & Recycling*, 160(March), 104854. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104854>
- Tundjungsari, V., Purnomosidi, B., Putranto, D., & Ulum, M. B. (2025). *An Integrated Model for Circular Waste Management Using the Internet of Things , Semantic Web , and Gamification (Circonomy) : Case Study in Indonesia*. 13, 1–15. <https://doi.org/10.2196/66781>
- van Wegen, M., Herder, J. L., Adelsberger, R., Pastore-Wapp, M., van Wegen, E. E. H., Bohlhalter, S., Nef, T., Krack, P., & Vanbellingen, T. (2023). An Overview of Wearable Haptic Technologies and Their Performance in Virtual Object Exploration. *Sensors*, 23(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/s23031563>
- Vargas, J. M., Castrillon, O. D., & Giraldo, J. A. (2025). *Implementation and Field Validation of a Digital Twin Methodology to Enhance Production and Service Systems in Waste Management*. 1–28. <https://doi.org/10.3390/app15126733>
- Wang, X., Xu, B., Zhang, W., Wang, J., Deng, L., Ping, J., Hu, C., & Li, H. (2023). Recognizing emotions induced by wearable haptic vibration using noninvasive electroencephalogram. *Frontiers in Neuroscience*, 17(July), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1219553>
- Wikurendra, E. A., Csonka, A., Nagy, I., & Nurika, G. (2024). Urbanization and Benefit of Integration Circular Economy into Waste Management in Indonesia : A Review. *Circular Economy and Sustainability*, 4(2), 1219–1248. <https://doi.org/10.1007/s43615-024-00346-w>

- Wu, S., Li, Y., Wang, Q., Cai, Y., Teng, P., Li, W., Zhang, F., Xu, L.-P., & Wang, S. (2025). Wearable plant sensing devices for health monitoring. *Wearable Electronics*, 2(April), 100–115. <https://doi.org/10.1016/j.wees.2025.03.002>
- Yang, L., Younas, M., & Saeed, M. M. (2024). *Does nature-based social prescription improve mental health outcomes ? A systematic review and meta-analysis.* March. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1228271>
- Ying, W. (2024). *Application of “ Virtual Reality + Haptic Feedback ” in Education : Opportunities and Challenges.* 7(8), 33–37. <https://doi.org/10.25236/FER.2024.070805>
- Zhongxi, Y., He, L., & Huang, T. (2024). *Powering Pro-Environment Behavior : The Impact of Unlocking Reward Strategy on Pro-Environmental Behavior.* <https://doi.org/10.3390/su16219561>

Lampiran Hasil Turnitin

Paper2026_Innochain_Hilmi Hafidlotus Saqofi_UNESA_Green Economy_FYTOGEL WEARABLE PHYTO.pdf

ORIGINALITY REPORT

8 %	6 %	1 %	6 %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to unikal Student Paper	5 %
2	www.scribd.com Internet Source	<1 %
3	repository.upi.edu Internet Source	<1 %
4	journals.unikal.ac.id Internet Source	<1 %
5	ejournal.warunayama.org Internet Source	<1 %
6	Dian Rusydianti. "Learning Harmony In Diversity: Tapa Sliwa And Empan Papan as a Mirror of Tolerance", Chalim Journal of Teaching and Learning, 2025 Publication	<1 %
7	Yuda Supriatna, Amarul Amarul, Sukirno Sukirno, Akmal Akmal et al. "Pesantren Hijau: Gerakan Mandiri Santri dalam Mengelola Sampah Organik menjadi Pupuk Cair Pondok Pesantren Nurul Bantani", Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat, 2025 Publication	<1 %
8	eprints.poltekkesjogja.ac.id Internet Source	<1 %
9	fr.scribd.com Internet Source	<1 %

10 jurnal.unsur.ac.id
Internet Source

< 1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On