

## IMPLEMENTASI TEKNOLOGI PIROLISIS SISTEM TERTUTUP UNTUK PENGOLAHAN SAMPAH RAMAH LINGKUNGAN BERBASIS PRODUKSI BIOCHAR

Muhamad Soleh<sup>1\*</sup>, Bambang Sugiantoro<sup>2</sup>, Utis Sutisna<sup>3</sup>, Junun Sartohadi<sup>4</sup>,  
Ngadisih<sup>5</sup>, Ainun N. Pulungan<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo, Indonesia

<sup>4,6</sup>Program Studi Magister Ilmu Tanah, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

<sup>5</sup>Program Studi Magister Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

[muh.soleh27@yahoo.com](mailto:muh.soleh27@yahoo.com)

### ABSTRAK

**Abstrak:** Kabupaten Purbalingga menghadapi tantangan pengelolaan sampah dan ketahanan pangan akibat keterbatasan kapasitas TPS3R (1,2 ton/hari) dibandingkan timbulan sampah desa (1,86–2,2 ton/hari), rendahnya pemilahan dari sumber, serta rendahnya produktivitas pertanian karena keterbatasan teknologi. Program pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan mengimplementasikan teknologi pirolisis sistem tertutup (*close-loop system*) berbasis Teknologi Tepat Guna (TTG) untuk meningkatkan pengolahan sampah, mendukung ekonomi sirkular, dan memperkuat ketahanan pangan desa. Program melibatkan dua mitra utama, yaitu Kelompok Swadaya Masyarakat (KSM) Berlian (17 anggota) sebagai pengelola sampah dan Kelompok Tani “Sanggar Tani” (24 anggota) sebagai pengembang pertanian. Pendekatan partisipatif diterapkan sejak perencanaan, instalasi, hingga operasional teknologi. Teknologi yang diterapkan meliputi mesin pemilah sampah tipe helix dan conveyor, reaktor pirolisis biomassa dan plastik, smoke scrubbing system, serta greenhouse hortikultura bertenaga surya. Hasil menunjukkan lebih dari 80% anggota mampu mengoperasikan teknologi secara mandiri. Kapasitas pengolahan meningkat menjadi 1,75 ton/hari, produktivitas hortikultura naik 50–70%, efisiensi energi mencapai 60%, serta biochar berpotensi meningkatkan pendapatan kelompok 30–40%. Program ini efektif memperkuat pengelolaan sampah, produktivitas pertanian, dan ketahanan pangan berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Pirolisis; *Close Loop System*; Sampah; Pemilahan; Bebas Lindi dan Bau; Biochar.

**Abstract:** Purbalingga Regency faces challenges in waste management and food security due to the limited capacity of TPS3R (1.2 tons/day) compared to the amount of waste generated by villages (1.86–2.2 tons/day), low sorting from the source, and low agricultural productivity due to limited technology. This community service program aims to implement closed-loop pyrolysis technology based on Appropriate Technology (TTG) to improve waste management, support the circular economy, and strengthen village food security. The program involves two main partners, namely the Berlian Community Self-Help Group (KSM) (17 members) as waste managers and the “Sanggar Tani” Farmer Group (24 members) as agricultural developers. A participatory approach was applied from the planning and installation stages to the operation of the technology. The technologies applied include a helix-type waste sorting machine and conveyor, a biomass and plastic pyrolysis reactor, a smoke scrubbing system, and a solar-powered horticultural greenhouse. The results show that more than 80% of members are able to operate the technology independently. Processing capacity increased to 1.75 tons/day, horticultural productivity rose by 50–70%, energy efficiency reached 60%, and biochar has the potential to increase the group's income by 30–40%. This program effectively strengthens waste management, agricultural productivity, and sustainable food security.

**Keywords:** Pyrolysis; *Close-Loop System*; Waste; Segregation; Leachate- and Odor-Free; Biochar.



#### Article History:

Received: 19-01-2026

Revised : 11-02-2026

Accepted: 12-02-2026

Online : 01-04-2026



This is an open access article under the  
CC-BY-SA license

## A. LATAR BELAKANG

Permasalahan pengelolaan sampah padat merupakan isu global yang berdampak langsung terhadap kualitas lingkungan, kesehatan masyarakat, dan keberlanjutan pembangunan. Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas domestik menyebabkan volume timbunan sampah meningkat secara signifikan, sementara kapasitas pengolahan masih terbatas pada pendekatan konvensional berupa pengumpulan dan pembuangan ke TPA (Putri et al., 2025). Sistem tersebut tidak lagi memadai karena berpotensi menimbulkan pencemaran tanah, air, dan udara serta meningkatkan emisi gas rumah kaca. Pendekatan pengelolaan sampah ramah lingkungan menuntut adanya teknologi yang mampu mengurangi volume sampah sekaligus menghasilkan produk bernilai guna. Konsep pengelolaan sampah berbasis ekonomi sirkular menempatkan sampah sebagai sumber daya yang dapat dikonversi menjadi energi atau material baru (Tauhida et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan teknologi inovatif yang mampu menjawab tantangan lingkungan dan sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan. Implementasi teknologi pengolahan sampah ramah lingkungan menjadi bagian penting dalam pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya tujuan ke-11 dan ke-12 (Sudipa et al., 2023).

Pirolisis merupakan proses konversi termokimia yang menguraikan material organik pada suhu tinggi dalam kondisi minim oksigen sehingga menghasilkan biochar, bio-oil, dan gas pirolisis (Nugraha et al., 2022). Dibandingkan dengan pembakaran langsung (incineration), pirolisis memiliki keunggulan berupa emisi yang lebih rendah serta fleksibilitas pemanfaatan produk hasil proses. Pengembangan sistem pirolisis berbasis closed-loop memungkinkan pemanfaatan kembali gas pirolisis sebagai sumber energi internal proses, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan menekan kehilangan panas. Sistem tertutup juga mampu meminimalkan pelepasan polutan ke udara dan mengurangi risiko bau serta lindi yang biasa muncul pada pengolahan sampah terbuka. Teknologi pirolisis skala komunitas dinilai cocok diterapkan sebagai Teknologi Tepat Guna karena dapat disesuaikan dengan karakteristik timbunan sampah lokal. Dengan demikian, pirolisis sistem tertutup merupakan solusi inovatif yang mengintegrasikan pengelolaan sampah dengan pemanfaatan energi secara berkelanjutan (Panwar, 2024).

Biochar merupakan produk padat hasil pirolisis biomassa yang kaya karbon dan memiliki sifat porositas tinggi, luas permukaan besar, serta stabilitas kimia yang baik (Kadarwati et al., 2025). Dalam konteks lingkungan, biochar berfungsi sebagai penyerap polutan dan media sekuestrasi karbon jangka panjang yang berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim. Di bidang pertanian, biochar telah terbukti mampu meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, retensi air, serta efisiensi pemupukan sehingga berdampak pada peningkatan produktivitas tanaman

(Pulungan et al., 2017). Pemanfaatan biochar dari sampah organik memberikan nilai tambah ekologis sekaligus ekonomi karena mengubah limbah menjadi input pertanian yang bermanfaat. Integrasi produksi biochar dengan sistem pengelolaan sampah menciptakan hubungan sinergis antara sektor lingkungan dan ketahanan pangan. Oleh karena itu, biochar menjadi komponen penting dalam pengembangan teknologi pengolahan sampah ramah lingkungan berbasis pirolisis. Pendekatan ini mendukung konsep pertanian berkelanjutan dan ekonomi sirkular di tingkat lokal (Junun et al., 2024)

Mitra kegiatan menghadapi permasalahan utama berupa tingginya timbulan sampah domestik yang tidak sebanding dengan kapasitas fasilitas pengolahan yang tersedia. Pengelolaan sampah masih dilakukan secara manual dengan keterbatasan sarana seperti mesin pemilah, conveyor, dan teknologi pengolahan lanjutan. Rendahnya tingkat pemilahan dari sumber menyebabkan dominasi sampah organik tercampur dengan anorganik sehingga memicu bau, pembentukan lindi, dan risiko pencemaran lingkungan. Selain itu, nilai ekonomi hasil pengolahan sampah masih rendah karena hanya terbatas pada pemilahan sederhana dan penjualan material bernilai rendah. Di sisi lain, sektor pertanian lokal masih bersifat konvensional dan belum terintegrasi dengan pemanfaatan limbah dan energi terbarukan sehingga produktivitas relatif rendah. Solusi yang ditawarkan adalah penerapan teknologi pirolisis sistem tertutup untuk mengolah sampah menjadi biochar dan energi, sehingga mampu mengurangi residu sampah, meningkatkan nilai tambah limbah, serta mendukung produktivitas pertanian lokal. Pendekatan ini diharapkan mampu menciptakan sistem pengelolaan sampah terpadu berbasis Teknologi Tepat Guna.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pirolisis merupakan teknologi yang efektif dalam mengurangi volume sampah sekaligus menghasilkan produk bernilai tambah. Sugiarto et al., (2024) melaporkan bahwa pirolisis biomassa limbah mampu menurunkan residu hingga lebih dari 70% dengan emisi yang lebih rendah dibandingkan pembakaran terbuka. Nugraha et al., (2022) menyatakan bahwa integrasi pirolisis dalam sistem pengelolaan sampah berbasis ekonomi sirkular meningkatkan efisiensi pemanfaatan material dan energi secara signifikan. Studi Panwar, (2024) juga menegaskan bahwa sistem pirolisis closed-loop mampu meningkatkan efisiensi energi sekaligus menekan dampak lingkungan melalui pemanfaatan gas pirolisis sebagai sumber panas proses. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pirolisis layak diterapkan pada skala komunitas sebagai solusi pengelolaan sampah berkelanjutan. Dengan demikian, kegiatan ini memiliki dasar ilmiah yang kuat dalam konteks teknologi pengolahan limbah.

Penelitian mengenai pemanfaatan biochar dalam sektor pertanian menunjukkan dampak positif terhadap kualitas tanah dan produktivitas

tanaman. Hariyono, (2021) menyatakan bahwa biochar mampu meningkatkan kapasitas tukar kation, aktivitas mikroba tanah, serta retensi air yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Nugraha et al., (2022) menegaskan bahwa biochar hasil pirolisis sampah organik berpotensi menjadi solusi ganda bagi pengelolaan limbah dan ketahanan pangan lokal. Putra et al., (2025) juga merekomendasikan penggunaan biochar sebagai bagian dari strategi pertanian cerdas iklim (*climate-smart agriculture*). Temuan-temuan tersebut memperkuat bahwa pemanfaatan biochar tidak hanya relevan dari sisi lingkungan, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan produksi pangan dan keberlanjutan sistem pertanian. Oleh karena itu, integrasi teknologi pirolisis dan pemanfaatan biochar memiliki dasar empiris yang kuat dalam penelitian terdahulu.

Berdasarkan permasalahan dan potensi yang ada, kegiatan ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi pirolisis sistem tertutup sebagai solusi pengolahan sampah ramah lingkungan berbasis produksi biochar. Tujuan utama kegiatan adalah meningkatkan kapasitas dan efisiensi pengelolaan sampah dengan mengurangi volume residu serta dampak pencemaran lingkungan. Selain itu, kegiatan ini bertujuan menghasilkan biochar sebagai produk bernilai tambah yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan ketahanan pangan lokal. Penguatan kapasitas masyarakat melalui pelatihan dan pendampingan teknologi juga menjadi sasaran penting agar sistem dapat dioperasikan secara mandiri dan berkelanjutan. Secara jangka panjang, kegiatan ini diharapkan mampu mendorong terbentuknya sistem ekonomi sirkular berbasis masyarakat yang mengintegrasikan pengelolaan sampah, energi, dan pertanian. Dengan demikian, implementasi teknologi pirolisis sistem tertutup menjadi langkah strategis dalam meningkatkan kualitas lingkungan, kesejahteraan ekonomi, dan kesehatan masyarakat (Mahmud et al., (2025); Masrida & Kartika, (2025).

## **B. METODE PELAKSANAAN**

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini melibatkan dua mitra utama, yaitu Kelompok Swadaya Masyarakat (KSM) Berlian dan Kelompok Tani “Sanggar Tani” yang berada di Desa Selaganggeng, Kecamatan Mrebet, Kabupaten Purbalingga. KSM Berlian merupakan kelompok pengelola Tempat Pengolahan Sampah *Reduce-Reuse-Recycle* (TPS3R) desa yang beranggotakan 17 orang dan bertanggung jawab atas pengelolaan sampah domestik masyarakat. Kelompok ini masih menghadapi keterbatasan sarana teknologi serta kapasitas pengolahan yang belum seimbang dengan timbulan sampah desa yang mencapai 1,86 ton per hari. Mitra kedua adalah Kelompok Tani “Sanggar Tani” yang beranggotakan 24 orang dan berperan dalam pengembangan pertanian lokal melalui program Pekarangan Pangan Lestari (PPL). Aktivitas pertanian kelompok ini masih bersifat konvensional dengan produktivitas yang rendah akibat keterbatasan fasilitas modern seperti

greenhouse, hidroponik, serta pemanfaatan teknologi pengolahan limbah organik sebagai input pertanian. Kedua mitra tersebut menjadi sasaran utama dalam implementasi Teknologi Tepat Guna (TTG) berbasis pirolisis sistem tertutup untuk mendukung pengelolaan sampah dan ketahanan pangan desa.

Metode pelaksanaan kegiatan pengabdian dilakukan melalui pendekatan partisipatif dan berbasis Teknologi Tepat Guna (TTG) untuk memastikan kesesuaian teknologi dengan kebutuhan, kapasitas, dan kondisi mitra. Pendekatan partisipatif diwujudkan melalui keterlibatan aktif mitra dalam setiap tahapan kegiatan, mulai dari perencanaan, instalasi teknologi, hingga pengoperasian dan evaluasi. Metode yang digunakan meliputi diskusi kelompok terarah (*Focus Group Discussion/FGD*), ceramah dan penyuluhan, pelatihan teknis (*hands-on training*), simulasi pengoperasian alat, serta pendampingan lapangan secara berkelanjutan. Selain itu, metode observasi dan wawancara digunakan untuk menggali kondisi awal mitra, sementara angket dan dokumentasi digunakan untuk mengukur capaian kegiatan. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan pemahaman, keterampilan, serta kemandirian mitra dalam mengelola teknologi yang diterapkan.

### **1. Tahap Pra Kegiatan**

Pada tahap pra kegiatan dilakukan identifikasi kebutuhan dan perencanaan program secara partisipatif bersama mitra. Kegiatan diawali dengan survei lapangan untuk mengetahui kondisi pengelolaan sampah di TPS3R KSM Berlian dan sistem pertanian pada Kelompok Tani “Sanggar Tani”. Selanjutnya dilakukan *Focus Group Discussion* (FGD) dan wawancara untuk mengidentifikasi permasalahan utama, potensi lokal, kesiapan sumber daya manusia, serta sarana pendukung yang tersedia. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa pengelolaan sampah masih dilakukan secara manual dengan keterbatasan teknologi pemilah, pengering, dan reaktor pirolisis, sehingga kapasitas pengolahan belum mampu menampung seluruh timbulan sampah desa. Pada sektor pertanian, ditemukan bahwa minimnya fasilitas greenhouse dan hidroponik menyebabkan produksi tidak berkelanjutan, terutama pada musim kemarau. Tahap ini juga mencakup penyusunan desain teknologi, spesifikasi alat, rencana kerja kegiatan, serta penetapan indikator keberhasilan program berdasarkan kondisi awal mitra.

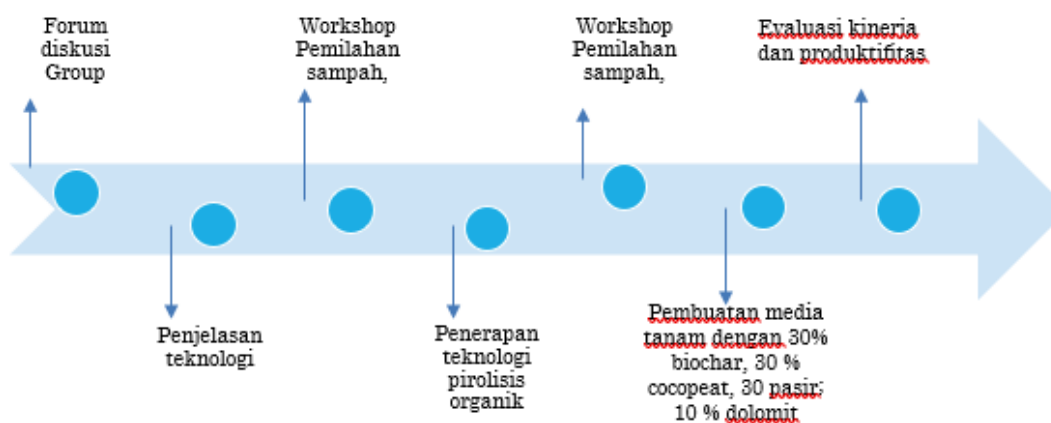
### **2. Tahap Pelaksanaan**

Tahap pelaksanaan meliputi perancangan, fabrikasi, instalasi, dan pengoperasian teknologi pengolahan sampah dan pertanian secara terintegrasi. Teknologi yang diimplementasikan mencakup mesin pemilah sampah tipe *helix* dan *conveyor*, reaktor pirolisis biomassa dan plastik dengan *sistem closed-loop*, mesin pencuci asap (*smoke scrubbing system*), serta *greenhouse* hortikultura berbasis energi surya. Instalasi dilakukan

secara bertahap dengan melibatkan mitra agar mereka memahami prinsip kerja dan perawatan alat. Selain itu, dilakukan pelatihan teknis mengenai pemilahan sampah, pengoperasian reaktor pirolisis, serta pemanfaatan produk hasil pirolisis berupa biochar, minyak pirolisis, dan maggot. Pada sektor pertanian, kelompok tani diberikan pendampingan terkait optimalisasi Program Pekarangan Pangan Lestari (PPL), pemanfaatan biochar sebagai pembenah tanah, serta penerapan sistem smart greenhouse dan hidroponik berbasis solar cell. Tahap ini juga mencakup simulasi operasional teknologi dan pendampingan intensif hingga mitra mampu mengoperasikan sistem secara mandiri.

### 3. Tahap Evaluasi

Tahap evaluasi dilakukan untuk mengukur tingkat keberhasilan kegiatan dari aspek teknis, kelembagaan, dan pemberdayaan mitra. Evaluasi dilakukan melalui observasi langsung terhadap kinerja teknologi, wawancara dengan anggota mitra, serta pengisian angket untuk mengukur peningkatan pengetahuan dan keterampilan. Indikator keberhasilan meliputi peningkatan kapasitas pengolahan sampah, tingkat pemanfaatan teknologi oleh mitra, peningkatan produktivitas pertanian, serta potensi nilai ekonomi produk hasil pirolisis. Selain itu, dilakukan evaluasi kelembagaan untuk menilai kemampuan mitra dalam mengelola teknologi secara mandiri dan berkelanjutan. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar perbaikan sistem serta penyusunan rekomendasi pengembangan program di masa mendatang agar teknologi yang diterapkan dapat terus berfungsi optimal dan memberikan dampak jangka panjang bagi masyarakat, seperti terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan pelaksanaan penerapan teknologi terintegrasi pengelolaan sampah untuk penguatan pangan

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat dilaksanakan dengan beberapa langkah utama sebagai berikut:

### 1. Pra Kegiatan

#### a. Identifikasi Kebutuhan dan Perencanaan Program

Kegiatan diawali dengan survei lapangan, diskusi kelompok terarah (FGD), dan wawancara dengan mitra KSM Berlian dan Kelompok Tani Sanggar Tani untuk mengidentifikasi permasalahan utama, potensi lokal, serta kesiapan sumber daya manusia dan sarana pendukung. Hasil identifikasi digunakan sebagai dasar perancangan spesifikasi teknologi, penyusunan rencana kerja, dan penentuan indikator capaian kegiatan.

Permasalahan utama yang dihadapi KSM Berlian sebagai pengelola TPS3R Desa Selaganggang adalah sistem pengelolaan sampah yang masih dilakukan secara manual dengan kapasitas terbatas, sehingga tidak mampu mengolah seluruh volume sampah desa yang mencapai 1,86 ton per hari. Keterbatasan teknologi seperti belum tersedianya mesin pemilah otomatis, alat pengering bursam, dan reaktor pirolisis menyebabkan proses daur ulang belum optimal serta nilai ekonomi limbah tetap rendah karena belum ada model bisnis sirkular yang terintegrasi. Selain itu, rendahnya keterampilan teknis anggota dan minimnya pelatihan membuat inovasi pengolahan limbah belum berkembang, ditambah kesadaran masyarakat dalam memilah sampah dari rumah tangga masih rendah. Data kinerja daur ulang ditunjukkan Tabel 1.

**Tabel 1.** Kinerja pengelolaan sampah KSM Berlian

No	Parameter Pengolahan sampah	Tahun Pengelolaan (ton)				% Daur Ulang
		2021	2022	2023	2024	
1	Sumber sampah					
	a. Rumah Tangga	240	269	265	288	30%
	b. Perkantoran	155	155	120	185	32%
	c. Lainnya	124	128	112	110	36%
2	Jenis Prduk daur ulang					
	a. Rongsok kardus/plastik	54	57	64	74	12.5%
	b. Plastik botol dll	23	27	34	46	8%
	c. Pupuk organik/Kasgot	42	52	62	67	12%

Kelompok Tani “Sanggar Tani” memiliki keterbatasan kemampuan dalam memenuhi kebutuhan harian karena sistem pertanian yang masih bersifat tradisional. Data produk pertanian hasil panen PPL kelompok Tani ditunjukkan Tabel 2.

**Tabel 2.** Data produk pertanian hasil panen PPL kelompok Tani

No	Produk	Omset Produk (Kuintal)		
		2022	2023	2024
1	Tanaman sayur	9	12	12,7
2	Pertanian/padi	68	69.25	62.3
3	Perkebunan Jumlah panen/palawija	32	34	36,5
4	Jenis tanaman pangan dan obat/varietas (jenis) sayuran dan buah	22	14	21

Minimnya fasilitas pertanian modern seperti green house dan sistem hidroponik menyebabkan kegiatan budidaya tidak berlangsung secara berkelanjutan, terutama pada musim kemarau. Selain itu, pengetahuan petani dan masyarakat mengenai teknik budidaya tanaman produktif serta pemanfaatan pekarangan untuk memenuhi kebutuhan gizi keluarga masih terbatas.

b. Perancangan dan Instalasi Teknologi

Berdasarkan hasil perencanaan, dilakukan perancangan, fabrikasi, dan instalasi teknologi yang meliputi mesin pemilah sampah helix dan conveyor, reaktor pirolisis biomassa dan plastik dengan sistem *closed-loop*, mesin pencuci asap, serta greenhouse hortikultura berbasis energi surya. Instalasi dilakukan secara bertahap dan melibatkan mitra untuk meningkatkan pemahaman terhadap sistem kerja teknologi.

Mesin pengering bursam dioperasikan untuk mengolah sampah organik menjadi biochar dan pupuk organik yang bermanfaat bagi petani lokal sekaligus mencegah pencemaran lingkungan akibat lindi dan bau sampah, dengan Produk daur ulang berupa maggot, Minyak Pirolisis, Biochar (Nugraha et al., 2022; Sugiantoro, 2022). TTG yang akan diberikan berupa Konveyor pemilahan, 1.5 HP, Mesin Pemilah sampah, 15 HP, desain teknik pirolisis bursam dan plastik (Sugiantoro, et al., 2024; Sartohadi, et al., 2024). Kelompok Tani akan diberikan pendampingan mengenai optimalisasi program Pekarangan Pangan Lestari (PPL), pemanfaatan biochar sebagai pembenah tanah, serta penerapan *smart greenhouse* untuk memperkuat ketersediaan pangan sehat. Sistem penanaman hidroponik (*smart green house*) berbasis solar cell (Murtiningrum et al., 2022; Sugiarto et al., 2024).

## 2. Pelaksanaan Kegiatan

a. Pelatihan Pemanfaatan Biochar

Tim pendamping dari Universitas Gajah Mada, melaksanakan kegiatan pelatihan pemanfaatan biochar berbahan baku sampah organik bagi kelompok tani mitra. Kegiatan bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani dalam mengolah

limbah organik menjadi produk biochar. Penguatan pemahaman pengolahan pangan lokal untuk pencegahan stunting dilakukan melalui edukasi dan pelatihan berbasis potensi desa. Kegiatan difokuskan pada peningkatan pengetahuan masyarakat, khususnya ibu rumah tangga dan kader kesehatan, tentang pemilihan bahan pangan lokal bergizi, teknik pengolahan yang aman, higienis, dan mempertahankan nilai gizi, serta penyusunan menu seimbang bagi ibu hamil dan balita.

Pendekatan partisipatif diterapkan agar masyarakat terlibat aktif dalam praktik langsung pengolahan pangan sehat. Melalui pemanfaatan hasil pertanian lokal secara optimal, kegiatan ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas konsumsi gizi keluarga, membentuk pola makan sehat berkelanjutan, dan berkontribusi nyata dalam pencegahan serta penurunan angka stunting di tingkat desa. Tim pendamping dari UGM memberikan workshop khusus terkait upaya penyiapan menu olahan berbahan pangan lokal. FGD dan praktek langsung pembuatan menu untuk penderita stunting dan penerapan jenis tanaman pangan yang relevan melalui pekarangan pangan dan sistem hidroponik. Pada aspek energi alternatif, pirolisis plastik terbukti mengonversi limbah plastik rumah tangga menjadi minyak sintesis, yang digunakan sebagai bahan bakar mesin pertanian ditunjukkan Gambar 2.



**Gambar 2.** Uji nyala minyak pirolisis sampah plastik

Teknologi yang telah terpasang diuji coba untuk menilai kinerja, kapasitas pengolahan, dan efisiensi sistem. Evaluasi dilakukan secara berkala bersama mitra untuk mengidentifikasi kendala teknis dan operasional, kemudian dilakukan penyempurnaan agar teknologi berfungsi optimal. Pelatihan penggunaan mesin pirolisis biomassa dan pirolisis plastik dilaksanakan untuk meningkatkan kemampuan teknis mitra dalam mengoperasikan, merawat, dan mengoptimalkan kinerja teknologi secara aman dan berkelanjutan.

Kegiatan pelatihan dilakukan dengan pengenalan prinsip kerja pirolisis, meliputi proses pemanasan tanpa oksigen, pengendalian suhu operasi, serta alur konversi bahan baku menjadi produk minyak

pirolisis, gas, dan residu padat berupa biochar. Peserta diberikan pemahaman mengenai perbedaan karakteristik bahan biomassa dan plastik serta implikasinya terhadap parameter operasi mesin.

Pelatihan dilanjutkan dengan praktik langsung (*learning by doing*) yang mencakup persiapan bahan baku, prosedur start-up dan shut-down reaktor, pengaturan laju pemanasan, serta pengendalian sistem kondensasi. Khusus pada pirolisis plastik, peserta dilatih melakukan uji nyala minyak pirolisis sebagai indikator kualitas awal bahan bakar, sekaligus memahami aspek keselamatan kerja selama pengujian. Pelatihan juga mencakup pengoperasian sistem pencuci asap (*wet scrubber*) yang berfungsi menurunkan emisi gas, bau, dan partikulat sebelum dilepaskan ke lingkungan. Peserta dibekali pengetahuan mengenai sirkulasi air pencuci, perawatan media filtrasi, serta pemantauan kinerja sistem untuk memastikan proses pirolisis berjalan ramah lingkungan. Melalui pelatihan ini, mitra mampu mengoperasikan sistem pirolisis secara mandiri, aman, dan berorientasi pada peningkatan nilai tambah limbah.

b. Pelatihan dan Pendampingan Operasional *Smart Green House*

Pendampingan operasional *smart greenhouse* dilaksanakan untuk meningkatkan kapasitas mitra dalam mengelola sistem budidaya hortikultura secara efisien, adaptif, dan berkelanjutan. Kegiatan pendampingan meliputi struktur bangunan, sistem pemeliharaan tanaman, pengendalian suhu dan kelembapan, serta pemanfaatan energi surya sebagai sumber daya utama. Mitra diberikan pemahaman mengenai prinsip kerja sistem otomatisasi dan peran sensor dalam menjaga kondisi mikroklimat pertumbuhan tanaman, seperti terlihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Intervensi teknologi pada mitra kelompok tani, Instalasi sistem solar cell-kontrol otomatis

Kelompok tani dilatih untuk perawatan sistem solar cell dan hidroponik dengan kontrol otomatis. Pendampingan dilanjutkan dengan praktik langsung pengoperasian sistem, mencakup pengaturan jadwal irigasi, pemantauan data suhu dan kelembapan, serta penyesuaian ventilasi dan naungan berdasarkan kebutuhan

tanaman. Mitra juga didampingi dalam penggunaan biochar hasil pirolisis sebagai amelioran tanah atau media tanam untuk meningkatkan kesuburan dan efisiensi penyerapan nutrisi. Selain aspek teknis, pendampingan mencakup penerapan Standar Operasional Prosedur (SOP), perawatan peralatan, serta identifikasi dan penanganan gangguan sistem secara mandiri.

c. Pelatihan sistem website kinerja pengelolaan sampah

Pelatihan sistem website kinerja pengelolaan sampah dilaksanakan sebagai upaya meningkatkan transparansi, akuntabilitas, dan efektivitas pengelolaan TPS3R melalui pemanfaatan teknologi informasi. *Website* dirancang sebagai instrumen kontrol kinerja yang menampilkan data operasional pengelolaan sampah secara terstruktur dan mudah diakses oleh pengelola serta pemangku kepentingan desa. Pelatihan fungsi monitoring kapasitas pengolahan, volume sampah masuk dan keluar, hasil pemilahan, serta produk turunan seperti biochar dan minyak pirolisis, seperti terlihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Pelatihan sistem website kinerja pengelolaan sampah

Selanjutnya, mitra diberikan pelatihan teknis terkait pengoperasian website, mulai dari penginputan data harian, pembaruan indikator kinerja, hingga visualisasi data dalam bentuk grafik dan laporan berkala. Peserta juga dibekali pemahaman mengenai indikator kinerja utama (*key performance indicators/KPI*), seperti tingkat reduksi sampah, efisiensi proses, dan capaian ekonomi, sehingga website dapat digunakan sebagai alat evaluasi berbasis data. Melalui pelatihan ini, sistem website berfungsi sebagai alat kontrol kinerja yang mendukung perencanaan, evaluasi, dan peningkatan berkelanjutan pengelolaan sampah desa, serta memperkuat tata kelola TPS3R yang transparan dan berorientasi pada kinerja.

### 3. Evaluasi Kegiatan

#### a. Indikator Capaian Keberdayaan Mitra

Keberdayaan mitra dalam program ini diukur melalui tiga aspek utama, yaitu sumber daya manusia (SDM), produksi, dan kelembagaan/manajemen. Ketiga aspek tersebut dipilih untuk menilai keberhasilan penerapan teknologi tidak hanya dari sisi teknis, tetapi juga dari kemampuan mitra dalam mengelola, mengembangkan, dan menjaga keberlanjutan program secara mandiri.

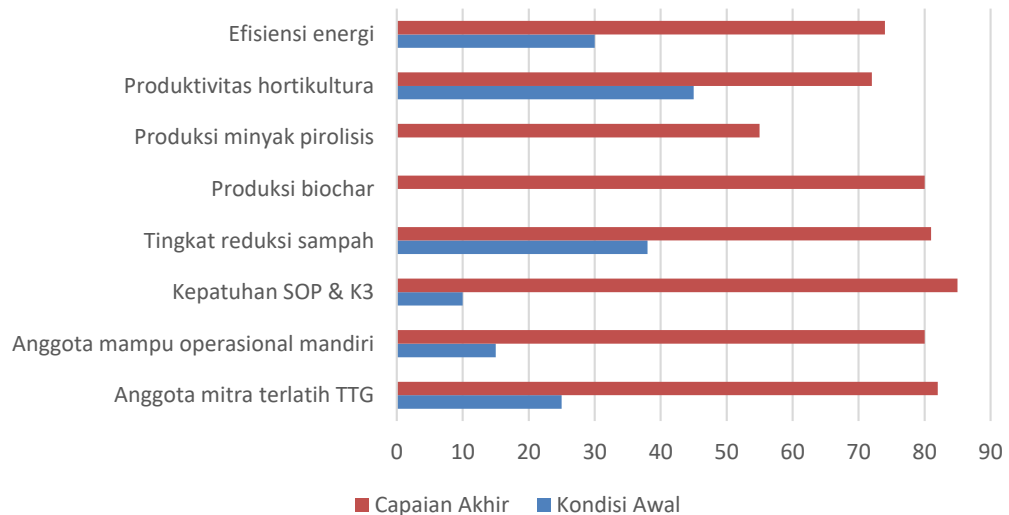
Keberdayaan dinilai melalui tiga aspek utama, yaitu sumber daya manusia (SDM), produksi, dan kelembagaan. Pada aspek SDM, indikator difokuskan pada peningkatan kompetensi dan kemandirian mitra dalam mengoperasikan Teknologi Tepat Guna (TTG). Lebih dari 80% anggota mitra telah mengikuti pelatihan dan mampu mengoperasikan sistem pirolisis, pemilahan sampah, dan smart greenhouse secara mandiri sesuai standar operasional dan keselamatan kerja.

Pada aspek produksi, indikator mencakup peningkatan kapasitas pengolahan sampah hingga sekitar 80% dari timbulan desa, diversifikasi produk bernilai tambah berupa biochar dan minyak pirolisis, serta peningkatan produktivitas pertanian hortikultura sebesar 50–70% melalui pemanfaatan greenhouse berbasis energi terbarukan. Capaian ini mendukung IKU hilirisasi hasil riset dan berkontribusi pada SDG 2, SDG 7, dan SDG 12.

#### b. Capaian Pengelolaan Sampah dan Energi Alternatif

Produktivitas KSM Berlian dalam pengelolaan sampah dan energi mengalami peningkatan signifikan setelah penerapan teknologi bursam dan pirolisis. Sebelum program, pengolahan sampah organik hanya terbatas <600 kg/minggu, menghasilkan lindi yang mencemari lingkungan. Setelah intervensi, kapasitas meningkat hingga 500 kg/hari dan mampu dikonversi menjadi rerata 100–150 kg biochar, yang berfungsi sebagai pembenah tanah tetapi juga memiliki nilai ekonomi.

Biochar dari sampah organik mampu memperbaiki kualitas tanah sekaligus menyerap karbon. Integrasi pengelolaan sampah dan energi terbarukan untuk meningkatkan ekonomi sirkular. Inovasi teknologi pirolisis dan bursam di KSM Berlian menjawab masalah lingkungan, energi, dan ekonomi secara bersamaan. Indikator capaian pemberdayaan mitra sasaran ditunjukkan Gambar 5.



**Gambar 5.** Indikator capaian pemberdayaan mitra sasaran

c. Evaluasi Hasil Pelaksanaan terhadap Keberdayaan Mitra

Intervensi teknologi di Desa Selaganggung menunjukkan pendekatan integratif antara pengelolaan sampah, energi alternatif, ketahanan pangan, dan pemberdayaan masyarakat. Pada aspek pengelolaan sampah, masalah utama berupa pencampuran sampah organik dan anorganik, bau, serta lindi dapat diatasi melalui penerapan teknologi pemilah dan mesin pengering bursam. Hasilnya berupa biochar dan pupuk organik yang langsung bermanfaat bagi pertanian lokal yang menekankan bahwa sistem pemilahan di sumber dan konversi organik menjadi produk bernilai dapat mengurangi tekanan lingkungan sekaligus mendukung ekonomi sirkular.

Pada aspek energi alternatif, pirolisis plastik terbukti mengonversi limbah plastik rumah tangga menjadi minyak sintesis, yang digunakan sebagai bahan bakar mesin pertanian. Hal ini mengurangi ketergantungan pada solar, sejalan dengan temuan (Syamsiro et al., 2014; Apriyanti et al., 2024). Di Yogyakarta menunjukkan bahwa minyak pirolisis memiliki potensi besar sebagai substitusi bahan bakar diesel pada skala lokal. Dengan demikian, intervensi ini tidak hanya menyelesaikan masalah plastik, tetapi juga memperkuat ketahanan energi desa, seperti terlihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Indikator Capaian Keberdayaan Kedua Mitra Sasaran

Indikator Capaian	Baseline	Setelah Intervensi Teknologi
Biochar (kg/minggu)	0	400
Minyak pirolisis (liter/minggu)	0	200
Sayuran segar (kg/minggu)	10	130
Bibit hortikultura (bibit/bulan)	0	500
Pupuk organik (kg/minggu)	0	600
Produktivitas lahan (%)	67	83

Potensi pendapatan (Rp/bulan)	2.600,000	6.200.000
Rumah tangga memilah sampah (%)	23	46
Anggota KT menguasai teknologi (org)	4	15
Keluarga penerima pangan sehat (KK)	5	25
Biochar (kg/minggu)	0	400

Keberhasilan program juga ditopang oleh partisipasi aktif masyarakat dan dukungan pemerintah desa. Dengan demikian, kegiatan ini tidak hanya menyelesaikan permasalahan lingkungan dan pangan secara bersamaan, tetapi juga berpotensi direplikasi ke desa lain dengan kondisi serupa sebagai model pengelolaan sampah dan pertanian berkelanjutan berbasis energi terbarukan.

d. Upaya Keberlanjutan

Aspek ketahanan pangan diperkuat melalui aplikasi biochar sebagai pembenah tanah dan pembangunan *smart greenhouse* berbasis energi surya. Hasilnya adalah peningkatan produktivitas pertanian dan ketersediaan sayuran segar yang mendukung upaya penanggulangan stunting (Adelino et al., 2024). Manfaat biochar dalam meningkatkan kapasitas tukar kation dan produktivitas tanaman. Integrasi teknologi greenhouse dengan energi terbarukan memberikan kesinambungan produksi pangan (Gorjian et al., 2011).

Aspek pemberdayaan masyarakat merupakan kunci keberlanjutan program. Melalui pelatihan dan pendampingan, baik KSM maupun kelompok tani kini mampu mengoperasikan teknologi secara mandiri dan membangun sinergi antara pengelolaan sampah dan pertanian (Paritosh et al., 2017). Keberhasilan teknologi daur ulang organik sangat bergantung pada penguatan kapasitas sosial masyarakat lokal.

## D. SIMPULAN DAN SARAN

Penerapan teknologi pirolisis *closed-loop system* yang terintegrasi dengan sistem pemilahan sampah, pencuci asap, serta *smart greenhouse* berbasis energi terbarukan di Desa Selaganggeng, Kecamatan Mrebet, Kabupaten Purbalingga terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja pengelolaan sampah dan ketahanan pangan masyarakat. Program ini mampu meningkatkan kapasitas pengolahan sampah dari 0,7 ton/hari menjadi rata-rata 1,5 ton/hari atau sekitar 80% dari total timbulan sampah desa, sekaligus menekan permasalahan bau dan lindi. Produk turunan pirolisis berupa biochar memberikan nilai tambah ekonomi dan mendukung peningkatan produktivitas pertanian hortikultura hingga 50–70%. Selain itu, pendekatan partisipatif melalui pelatihan dan pendampingan berhasil meningkatkan kapasitas sumber daya manusia, dengan lebih dari 80% anggota mitra

mampu mengoperasikan teknologi secara mandiri sesuai SOP dan prinsip keselamatan kerja.

Penguatan kelembagaan melalui penerapan SOP, sistem monitoring kinerja berbasis website, serta integrasi kegiatan ke dalam perencanaan pembangunan desa menjadi faktor penting dalam menjamin keberlanjutan program. Secara keseluruhan, kegiatan ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi tepat guna, energi terbarukan, dan pemberdayaan masyarakat dapat mendorong terbentuknya sistem ekonomi sirkular desa yang berkelanjutan. Untuk meningkatkan dampak dan keberlanjutan program, diperlukan penguatan pemilahan sampah dari sumber melalui edukasi berkelanjutan kepada masyarakat serta dukungan regulasi desa. Pengembangan teknologi lanjutan seperti peningkatan kapasitas reaktor, sistem kontrol berbasis sensor, dan pemurnian produk pirolisis disarankan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produk. Selain itu, replikasi model pengelolaan sampah dan pertanian terintegrasi ini di desa lain perlu didukung melalui kolaborasi multipihak, pendanaan berkelanjutan, serta pendampingan jangka panjang oleh perguruan tinggi dan pemerintah daerah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M) Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia Tahun 2025, atas dukungan pendanaan dan fasilitasi sehingga kegiatan pengabdian kepada masyarakat Skema Kosabangsa dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Pemerintah Kabupaten Purbalingga, Pemerintah Desa Selaganggeng, P.T. TANI KAYA dan serta seluruh pihak yang telah berpartisipasi aktif dalam mendukung kelancaran program ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- Adelino, M. I., Farid, M., Fitri, M., & Febry, M. (2024). Pengukuran Kinerja Supply Chain Management dengan Metode Green SCOR. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 6(1), 236–244.
- Apriyanti, D., Rosayanti, F. S., Gayatri, M. P., & Pramasha, R. R. (2024). Optimalisasi Metode Waste to Energy (WtE) Dalam Pengelolaan Limbah Sebagai Sumber Energi Terbarukan Desma Apriyanti<sup>1</sup> Fatimah Shobiyatun Rosayanti<sup>2</sup> Mei Popy Gayatri<sup>3</sup> Raizky Rienaldy Pramasha<sup>4</sup>. *Jurnal Akuntansi, Manajemen Dan Ekonomi*, 3(2), 20–29.
- Bambang Sugiantoro, Utis Sutisna, Muhamad Soleh, Nana Kariada Tri Martuti, Widowati, S. (2024). Inovasi Reaktor Pirolisis Sampah Plastik Campuran Sampah Perkotaan Dengan Tabung Mendatar Dan Kondensor Bertingkat Kapasitas 50 Kg Self-Sufficient. In *Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (SEHATI ABDIMAS)*, 7(1), 289-299.
- Gorjian, S., Hashjin, T. T., & Ghobadian, B. (2011). Solar Powered Greenhouses. *SET2011, 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies, Istanbul, Turkye*.
- Hariyono, B. (2021). Multifungsi Biochar dalam Budi Daya Tebu. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat Dan Minyak Industri*, 13(2), 94–112.

- Junun Sartohadi, Ngadisih, Nur Ainun Harlin Jennie Pulungan, Tris Sugiarto, Yb. Praharto, N. H. (2024). Penerapan tata letak tanaman dan reaktor pirolisis biomassa konversi menjadi biochar berbahan baku sampah perkotaan. *BUDIMAS : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(3). Retrieved from <https://www.jurnal.stie-aas.ac.id/index.php/JAIM/article/view/15602>
- Kadarwati, S., Damayanti, L., & Farida, R. (2025). Biochar sebagai Material Alam Penyimpan Energi Masa Depan. *Bookchapter Alam Universitas Negeri Semarang*, 5, 71–117.
- Mahmud, M. R., Asfar, A. M. I. A., Damayanti, R., Jusrianto, M., Herman, M. I. A., & Khaerun, M. (2025). Optimalisasi Limbah Sekam Padi melalui Teknologi Pirolisis: Upaya Mewujudkan Desa Produktif dan Ramah Lingkungan. *Jurnal Masyarakat Madani Indonesia*, 4(3), 355–364.
- Masrida, R., & Kartika, W. (2025). Potensi Konversi Limbah Organik dengan Metode Pirolisis Menjadi Biochar, Syngas dan Bio-Oil: Tinjauan Literatur Sistematis. *Journal of Engineering Environmental Energy and Science*, 4(2), 79–88.
- Murtiningrum, M., Rasyid, I. N., Christyaningrum, L., Fahrnis, E., & Ngadisih, N. (2022). Performance of Drip and Mist Irrigation to Supply Water for Vegetable. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 999(1), 12013.
- Nugraha, S. S., Sartohadi, J., & Nurudin, M. (2022). Field-Based Biochar, Pumice, and Mycorrhizae Application on Dryland Agriculture in Reducing Soil Erosion. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022(1), 1775330.
- Panwar, N. L. (2024). Pyrolysis technologies for biochar production in waste management: a review. *Clean Energy*, 8(4), 61–78.
- Paritosh, K., Kushwaha, S. K., Yadav, M., Pareek, N., Chawade, A., & Vivekanand, V. (2017). Food waste to energy: an overview of sustainable approaches for food waste management and nutrient recycling. *BioMed Research International*, 2017(1), 2370927.
- Pulungan, N. A., Utami, S. N. H., Purwanto, B. H., & Sartohadi, J. (2017). Analysis of SOM and soil nutrients for sustainable agriculture in hilly areas: Central Part of Bogowonto Catchment, Java, Indonesia. *Proceeding of the 1st International Conference on Tropical Agriculture*, 197–208.
- Putra, R. P., Dewi, V. A. K., & Rahma, M. J. (2025). Strategi adaptasi dan mitigasi perubahan iklim pada perkebunan tebu rakyat di Indonesia: tinjauan literatur. *Agroteknika*, 8(2), 382-408.
- Putri, A. M., Sudrajat, A., Hadzami, F. A., Razak, G. R., & Muna, N. (2025). Analisis Pengaruh IPM dan Jumlah Penduduk terhadap Timbulan Sampah Plastik di Indonesia. *Musyitari: Jurnal Manajemen, Akuntansi, Dan Ekonomi*, 21(1), 1–10.
- Sudipa, I. G. I., Harto, B., Sahusilawane, W., Afriyadi, H., Lestari, S., & Handayani, D. (2023). *Teknologi Informasi & SDGs*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Sugiantoro, B. (2022). *Alat Peraga Mesin Pemilah Sampah Pisau Helix Torsi Tinggi Kapasitas 2 Ton/Jam [Hak Cipta]* (EC00202212345).
- Sugiarto, T., Sartohadi, J., Pulungan, N. A. H. J., Ngadisih, N., Praharto, Y. B., & Hidayati, N. (2024). Inovasi Reaktor Pirolisis Produksi Biochar Berbahan Baku Organic Waste Slurry Dari Sampah Perkotaan Terpilah Dengan Kontrol Tekanan. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat (SEHATI ABDIMAS)*, 7(1), 180–191.
- Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., & Yoshikawa, K. (2014). Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors. *Energy Procedia*, 47, 180–188.

Tauhida, D., Rahmawati, R., Susanti, D. A., & Budiman, N. A. (2025). Smart Waste Handling Technology: Pendekatan Inovatif Dalam Mewujudkan Pengelolaan Sampah Berbasis Green Economy. *Jurnal Abdi Insani*, 12(8), 3762–3770.