

PENERAPAN TATA LETAK TANAMAN DAN REAKTOR PIROLISIS BIOMASSA KONVERSI MENJADI BIOCHAR BERBAHAN BAKU SAMPAH PERKOTAAN

**Tris Sugiarto¹, Junun Sartohadi², YB Praharto³, Ngadisih⁴, Nurul Hidayati⁵,
Nur Ainun Harlin Jennie Pulungan⁶**

¹ Program Studi Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto

^{2,6} Program Studi Magister Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

³ Program Studi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto

⁴ Program Studi Magister Teknik Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

⁵ Program Studi Teknik Industri Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto

E-mail: ¹⁾trissugiarto@stt-wiworotomo.ac.id, ²⁾junun@ugm.ac.id, ³⁾praharto@stt-wiworotomo.ac.id, ⁴⁾ngadisih@ugm.ac.id, ⁵⁾nurulhidayati@stt-wiworotomo.ac.id,
⁶⁾nurainun.pulungan@ugm.ac.id

Abstrak

Desa Rawalo, Kabupaten Banyumas, berdasarkan data biogeofisik memiliki kontur dan bentang wilayah berupa dataran dengan sebagian besar berupa area perkebunan dengan area perbukitan dengan area tertinggi 300 mdpl. Desa ini memiliki unit pengelolaan sampah kapasitas 9-10 ton/hari yang menghasilkan sampah pilahan plastik dan organik. Sampah organik oleh kelompok tani diolah menjadi pupuk melalui dekomposisi alami tetapi membutuhkan waktu proses 30 hari dan menimbulkan timbunan diarea hanggar. Unit pengelola sampah membutuhkan penetrasi dan peningkatan teknologi untuk mendukung ketahanan pangan dan produktivitas pertanian. Metode yang diterapkan meliputi penerapan teknologi pirolisis menggunakan reaktor ganda untuk mengonversi sampah organik menjadi biochar, produk berkarbon tinggi yang memiliki potensi besar dalam memperbaiki kualitas tanah pertanian. Biochar berfungsi sebagai pembenah tanah, meningkatkan kapasitas penyimpanan air dan nutrisi, serta mendukung pertumbuhan tanaman. Produksi biochar diintegrasikan dengan tata letak tanaman yang disusun secara optimal sesuai kebutuhan nutrisi dan struktur akar untuk menciptakan lingkungan tumbuh tanaman pangan lebih sinergis. Metode tata letak ini diberikan untuk penataan tanaman yang leboh produktif. Penggunaan biochar diaplikasikan pada area lahan petani secara terbatas, terutama pada lokasi tanah yang sudah hilang lapisan humusnya. Teknologi tepat guna Mesin pencuci asap vortex wet scrubber dan sealer paking pupuk/biochar. Penguatan manajemen melalui Forum Diskusi, workshop dan aplikasi dilapangan dengan menggunakan teknologi tepat guna memastikan proses produksi yang ramah lingkungan. Kinerja pengelolaan sampah didukung dengan website yang terintegrasi layanan penjualan produk. Penguatan Pendekatan ini diharapkan menjadi model pengelolaan sampah organik yang berkelanjutan dan berdampak positif bagi ketahanan pangan lokal.

Kata kunci: Sampah, Organik, Pirolisis, Biochar, Tata Letak Tanaman, Biomassa.

Abstract

Based on biogeophysical data, Rawalo Village, Banyumas Regency, is situated on flat terrain dominated by agricultural areas and hill regions with an elevation of up to 300 meters above sea level. This village operates a waste management unit with a capacity of 9-10 tons per day, producing sorted plastic and organic waste. Organic waste is processed by farmer groups into compost through natural decomposition, a process that requires 30 days and results in stockpiling in hangar areas. The waste management unit requires technological penetration

and enhancement to support food security and agricultural productivity. The approach involves the application of pyrolysis technology using a dual-reactor system to convert organic waste into biochar a high-carbon product with considerable potential for improving soil quality in agricultural land. Biochar functions as a soil amendment, increasing water retention and nutrient availability, while also supporting plant growth. In its application, biochar production is integrated with an optimal crop layout tailored to nutrient needs and root structures, creating a synergistic environment for food crops. This layout method optimizes plant arrangement for greater productivity. Biochar use is applied on a limited basis to farming areas, primarily where soil has lost its humus layer. Appropriate technology such as the vortex wet scrubber for smoke filtering and packaging sealers for fertilizers/biochar is utilized. Management is strengthened through discussion forums, workshops, and field applications using appropriate technology to ensure an environmentally friendly production process. Waste management performance is further supported by an integrated website offering product sales services. This approach is expected to serve as a sustainable model for organic waste management and to positively impact local food security.

Keywords: Waste, Organic, Pyrolysis, Biochar, Plant spatial arrangement, Biomass resources.

1. PENDAHULUAN

Desa Rawalo, Kecamatan Rawalo, Kabupaten Banyumas, yang berjarak 20 km dari pusat kota Purwokerto, merupakan wilayah dengan kontur dataran yang sebagian besar dimanfaatkan sebagai area perkebunan dan persawahan, dengan ketinggian maksimal mencapai 300 meter di atas permukaan laut (mdpl) (BPS Kabupaten Banyumas, 2001). Wilayah ini memiliki potensi pertanian yang sangat mendukung, terutama dengan curah hujan tahunan yang tinggi, yaitu antara 3.739 hingga 4.789 mm, serta lintasan Sungai Serayu yang membentang luas, memberikan suplai air yang stabil bagi lahan persawahan seluas 1.085 hektar (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2020).

Data demografi menunjukkan bahwa sebagian besar penduduk Desa Rawalo memiliki tingkat pendidikan yang relatif rendah, dengan persentase penduduk berpendidikan dasar (SD) sebesar 51,7%, pendidikan menengah pertama (SLTP) sebesar 19,3%, dan pendidikan menengah atas (SLTA) sebesar 20,8%. Hanya sekitar 3% dari populasi yang telah menyelesaikan pendidikan diploma dan sarjana. Mata pencaharian utama penduduk adalah di sektor pertanian (32,04%) serta usaha kecil menengah (UKM), kerajinan, dan perikanan (49%), sementara sisanya bekerja sebagai pegawai negeri sipil (PNS) dan buruh pabrik (19,6%) (BPS Provinsi Jawa Tengah, 2023).

Desa Rawalo merintis unit pengelolaan sampah untuk menangani permasalahan sampah organik yang belum dikelola secara optimal. Pengelolaan sampah organik dilakukan dengan teknologi yang sederhana, sehingga pemilahan sampah belum dapat mendukung konversi cepat sampah organik menjadi pupuk. Situasi ini menjadi tantangan bagi Desa Rawalo untuk mencapai ketahanan pangan berbasis pertanian dan perkebunan yang berkelanjutan. Melalui kelompok tani dan peternakan, masyarakat desa berupaya merintis rumah kompos yang terintegrasi dengan peternakan ruminansia untuk meningkatkan produksi pupuk berkualitas, namun keterbatasan teknologi membuat produksi pupuk masih rendah.

Unit pengolahan sampah sebagai penghasil sampah organik masih menggunakan dekomposisi alami sehingga timbunan sampah organik menumpuk di area hanggar yang menimbulkan bau dan lindi. Inovasi teknologi untuk pengelolaan sampah yang terintegrasi di Desa Rawalo sangat dibutuhkan untuk mendukung ketahanan pangan sekaligus meningkatkan ekonomi desa melalui diversifikasi produk berbasis sumber daya lokal (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019). Permasalahan timbunan sampah organik

membutuhkan reaktor pirolisis untuk produksi biochar, penerapan teknologi tepat guna (TTG) berupa mesin pencuci asap guna menekan polusi udara dalam proses produksi, dan mesin paking sealer untuk produk pupuk dan biochar agar memenuhi standar pengemasan dan distribusi yang baik.

Proses pirolisis limbah organik memiliki sifat unik dan berpotensi tinggi untuk memperbaiki struktur dan kualitas tanah, meningkatkan kapasitas penyerapan air, serta menyediakan nutrisi tambahan yang dibutuhkan oleh tanaman. Biochar hasil pirolisis memiliki daya serap tinggi yang meningkatkan kemampuan tanah menahan air dan nutrisi, membantu retensi hara, serta memperbaiki porositas tanah, yang semuanya penting bagi pertumbuhan tanaman (Daraei et al., 2024). Di samping itu, biochar dapat mempercepat pembentukan agregat tanah, yang pada gilirannya meningkatkan kapasitas infiltrasi dan aerasi tanah (Ayaz et al., 2021). Aplikasi biochar juga memiliki efek positif terhadap aktivitas mikroba tanah, yang membantu dekomposisi bahan organik dan meningkatkan ketersediaan nutrisi (Awad et al., 2018).

Penerapan inovasi teknologi pengolahan limbah organik dan pemberdayaan masyarakat berbasis inovasi teknologi pirolisis untuk meningkatkan produksi biochar berkualitas akan meningkatkan kesediaan pupuk memperluas akses pasar yang lebih luas bagi produk-produk pertanian desa.

Tujuan Penerapan Teknologi

Penerapan teknologi produksi biochar di Desa Rawalo bertujuan untuk mendukung peningkatan kesuburan tanah secara berkelanjutan dan produktivitas pertanian melalui pendekatan inovatif yang ramah lingkungan. Biochar, dengan minimalisasi efek methan (Panjaitan et al., 2015) sebagai hasil dari proses pirolisis limbah organik, memiliki sifat yang unik dan berpotensi tinggi untuk memperbaiki struktur dan kualitas tanah, meningkatkan kapasitas penyerapan air, serta menyediakan nutrisi tambahan yang dibutuhkan oleh tanaman (Pandey et al., 2020) (Nugraha et al., 2022). Secara spesifik, tujuan dari penerapan teknologi produksi biochar dan tata letak tanaman meliputi beberapa aspek berikut:

1. Meningkatkan Kualitas dan Kesuburan Tanah Pertanian, Biochar memiliki kemampuan menyerap nutrisi dan air secara efektif, yang dapat mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia dan meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang kurang optimal.
2. Mengurangi Timbunan Sampah Organik, Teknologi reaktor pirolisis memungkinkan pemanfaatan limbah organik dan residu tanaman menjadi biochar, yang dapat mengurangi volume sampah organik yang terbuang dan menumpuk di area desa.
3. Meningkatkan Hasil Panen melalui Pengelolaan Tata Letak Tanaman, untuk mendukung pertumbuhan tanaman dengan mempertimbangkan kebutuhan spesifik setiap jenis tanaman, pola aliran air, dan penyerapan nutrisi yang lebih efektif.
4. Mengoptimalkan Pemanfaatan Lahan Kritis dan Marginal, sehingga lahan-lahan yang sebelumnya kurang produktif dapat dimanfaatkan kembali untuk kegiatan bercocok tanaman dan letak tanaman yang sesuai untuk jenis lahan yang berbeda.

Penerapan teknologi biochar ini mendukung ketahanan pangan lokal dan memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat Desa Rawalo. Produksi biochar skala desa juga memungkinkan masyarakat untuk memiliki sumber pendapatan baru dari penjualan produk biochar atau hasil pertanian yang meningkat. Secara keseluruhan, tujuan penerapan teknologi produksi biochar dan pengelolaan tata letak tanaman ini adalah untuk membangun ekosistem pertanian berkelanjutan yang terintegrasi dan memperbaiki kondisi lingkungan serta ekonomi desa. Kombinasi biochar dan tata letak tanaman yang optimal diharapkan dapat menciptakan hasil pertanian yang lebih tinggi, meningkatkan kesejahteraan petani, serta memberikan dampak positif yang berkelanjutan bagi ekosistem Desa Rawalo.

2. METODE PELAKSANAAN

Mitra Sasaran

Unit pengelolaan sampah dikelola Kelompok Swadaya Masyarakat (KSM) Karya Mandiri Sejahtera dengan ketua Mohammad Adib, petugas lainnya adalah operator pemilah 9 orang dan petugas pengambil sampah 8 orang, untuk memudahkan pengumpulan iuran dibentuk kordinator setiap wilayah (RT), sebanyak 21 orang. Tempat pengelolaan sampah berada di Jl. Raya Purwokerto, bonjok, Kec. Rawalo Kab. Banyumas Jateng. Kondisi dan fasilitas teknologi yang dimiliki KSM ditunjukkan Gambar 1.



(a) Proses pengambilan sampah (b) Pemilahan sampah, (c) Sampah menumpuk di ruang TPS, (d) Pembakar sampah konvensional

Gambar 1 Permasalahan mitra KSM pengelola sampah

Permasalahan prioritas dalam mencapai zero waste, sampah organik dan plastik pilahan masih banyak yang belum dikelola dan daur ulang masih rendah. dengan teknologi terbatas, pilahan sampah masih menumpuk dihanggar, sampah organik belum dimanfaatkan optimal, pembakaran plastik dan residu menggunakan tungku konvensional. Layanan sampah meliputi 5 desa, perkantoran dan UKM di Kecamatan Rawalo, dengan rata-rata jumlah sampah harian 8-9 ton/hari, per bulan rerata 192-98 ton. Sampah organik sebagian menjadi pakan maggot BSF dan dekomposisi alami untuk menjadi pupuk. Data kinerja KSM ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1 Kinerja pengelolaan sampah (2020-2023)

No	Parameter Pengolahan sampah	Tahun Pengelolaan				% Daur Ulang (2024)
		2020	2021	2022	2023	
1	Sumber sampah (8-9 ton/hari)	Pemilahan menghasilkan sampah organik, an-organik (ton)				
	a.Rumah Tangga	1.480	1.491	1.495,5	1.498,7	30%
	b.Perkantoran, sekolah dan industri/perdagangan	134	135,6	136,8	137.9	44%
	c.Lainnya/pertamanan	82	98	96	97,5	26%
2	Jenis Produk daur ulang	Penjualan rongsok (Jt)/Tahun				
	a.Rongsok kardus/plastik	67	69	72	77	
	b.RDF dan produk lainnya	42	41	32	36	

Permasalahan KSM dalam mencapai zero waste, sampah organik dan plastik pilahan masih belum dikelola dan daur ulang masih rendah. Sampah terpilah berupa bubur sampah organik dan plastik dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biochar dan minyak pirolisis. Sampah organik terpilah dikelola oleh Kelompok Tani Jaya IV dengan komoditas sayur, padi dan Perkebunan. Ketua kelompok, Huda Ristanto, alamat sekretariat di Jl. H.M. Bacroen Rawalo Kec. Rawalo Kab. Banyumas. pengurus sebanyak 14 orang dengan anggota mencapai 32 orang. Aktifitas pertanian dan produksi pupuk organik ditunjukkan Gambar 2.



(a) (b) (c) (d)

Gambar 2. Aktifitas pertanian, (a) Sayur, (b) Pertanian lahan perbukitan, (c) Lahan pertanian yang kritis, (d) Produksi pupuk organik kelompok Tani Jaya IV.

Tabel 2. Data produksi pertanian dan pupuk 3 tahun (2021-2024)

No	Produk	Data produksi (ton)			Target 2024
		2021	2022	2023	
1	Tembakau	42	44,5	49,5	(1). Bertambahnya jenis produk biochar, (2). Peningkatan kondisi struktur tanah, (3). Pemanfaatan biochar dan tata letak tanaman perkebunan
2	Sayur	76	78	72	
3	Padi	77	78	77	
4	Produk perkebunan	23	24	23	
5	Jagung	15	17,4	16,5	
6	Pupuk padat	73	72	74	

Produksi sebagian komoditas mulai menyusut akibat kondisi tanah yang mulai berkurang kesuburannya, terutama pada lahan perbukitan dan sawah, berdasarkan produksi tahunan penyusutan. Produksi pupuk belum memenuhi kebutuhan petani, sebagian besar masih mengandalkan kotoran ternak. Permasalahan kesediaan pupuk organik dan kompos menjadi skala prioritas untuk perbaikan struktur tanah terutama area sawah dan bukit yang berkurang kesuburannya, membutuhkan kompos dari sampah organik dan biomassa limbah pertanian untuk diubah menjadi biochar untuk meningkatkan kesuburan dan konservasi tanah.

Untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi mitra sasaran dalam pengelolaan sampah organik dan peningkatan produktivitas pertanian, metode penerapan teknologi yang tepat dan terintegrasi sangat diperlukan. Teknologi pirolisis yang dirancang khusus untuk produksi biochar menjadi komponen utama dalam solusi ini, dengan pendekatan yang mempertimbangkan aspek sumber daya manusia (SDM), produksi, dan manajemen. Pelaksanaan pada 3 aspek dilakukan dengan metode sebagai berikut:

1. Aspek SDM, dengan peningkatan kapasitas SDM di tingkat masyarakat menjadi fokus utama, karena teknologi pirolisis membutuhkan pemahaman mendasar tentang operasional, pemeliharaan, dan penerapan produk biochar dalam pertanian.

2. Aspek Produksi, optimasi digunakan untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi reaktor pirolisis untuk menghasilkan biochar berkualitas tinggi dengan waktu produksi yang lebih singkat dan volume yang lebih besar dibandingkan metode konvensional.
3. Aspek Manajemen, metode yang diterapkan berfokus pada penguatan organisasi pengelola sampah dan biochar.
Pelaksanaan dan target capaian dalam bentuk Tabe 3.

Tabel. 3 Rencana Kegiatan dan Capaian Mitra KSM Karya Mandiri Sejahtera

No	Permasalahan Mitra	Bentuk Kegiatan pemberdayaan	Target Capaian
1	Aspek SDM SDM sudah mampu mengoperasikan mesin TTG proses pemilah sampah tetapi tetapi belum memahami teknologi produksi biochar dan pirolisis plastic dengan memanfaatkan sampah	<ol style="list-style-type: none"> a. Pretest dilanjutkan workshop tranfer ilmu pirolisis biomass dan plastic, (modul Pelatihan) b. Posttest mengukur tingkat keterserapan ilmu pengetahuan c. Penguatan materi melalui video d. Teknik pirolisis yang optimal, perawatan rutin dan minor overhoul (Modul/SOP) 	80% SDM menguasai pengetahuan tentang produksi pirolisis biomass dan plastic, teknik pirolisis, perawatan rutin, minor overhoul sesuai SOP.
2	Aspek produksi Belum memanfaatkan biomass untuk produk biochar, membutuhkan TTG reactor pirolisis biomass dan plastic dalam 1 proses yang inovatif, pembakaran konvensional dan polusi asap tinggi	<ol style="list-style-type: none"> a. Pembuatan TTG 1 reaktor ganda proses pirolisis biomass dan plastic, self sufficient b. Sistem instalasi, kondensor dan control suhu proses pirolisis, c. TTG 2 berupa pencuci asap untuk asap burner dan reactor wet scrubber d. menyusun SOP sistem operasi dan perawatan berkala 	TTG 100 % siap digunakan, proses pirolisis, biomass menjadi biochar dan plastic menjadi minyak untuk kesediaan bahan bakar mandiri Emisi memenuhi syarat udara sehat
3	Aspek Manajemen	<ol style="list-style-type: none"> a. Pelatihan manajemen pengelolaan produk biochar dan minyak b. Uji coba minyak sebagai bahan bakar pada mesin /TTG pertanian, pencacah, penggerak diesel (uji mutu produk), c. Membangun sistem informasi dan website 	Pengelola memahani cara pengelolaan unit pirolisis, Tersedia website monitoring kinerja, income generating meningkat 30%

dengan data kinerja

Pelaksanaan penerapan pada mitra kedua ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel. 4 Rencana Kegiatan dan Capaian Mitra 2 (Tani Tani Jaya IV)

No	Permasalahan Mitra	Rencana Kegiatan pemberdayaan	Target Capaian
1	Aspek SDM Keterbatasan pengetahuan terkait proses pembuatan pupuk organik, Keterbatasan ketrampilan belum ada inovasi dan pengetahuan pengelolaan lahan kritis terutama tata letak tanaman.	a. Workshop untuk tranfer ilmu teknologi pengolahan dan pembuatan pupuk organik (modul Pelatihan) b. workshop penerapan biochar pada lahan pertanian kritis, Pelatihan dan praktek (Modul/SOP). c. Post test, untuk mengukur Tingkat pemahaman kelompok	80% SDM menguasai pengetahuan pembuatan pupuk organik, pencacahan/ penghancur kotoran kambing, mempraktekkan biochar dari mitra 1 pada lahan pertanian sesuai tata letak tanaman.
2	Aspek produksi Biochar dari sampah organik yang dihasilkan reactor pirolisis biomassa kelompok KSM akan dimanfaatkan untuk kebutuhan kelompok dan dijual, membutuhkan TTG paking sealer kompos	a. Pelatihan pemanfaatan biochar hasil pirolisis untuk perbaikan struktur tanah, dan menjadi produk jual, b. Pelatihan produk dengan variasi yang marketable dan mutu yang lebih baik. c. TTG Paking per karung pupuk padat	Penerapan biochar dan tata letak tanaman akan meningkatkan produktifitas pertanian 30%, TTG paking untuk penjualan dan meningkatkan kapasitas produksi dan kesediaan pupuk
3	Aspek Manajemen dan Pemasaran	a. Pelatihan manajemen pengelolaan pengorganisasi SDM dan quality control b. Membuat rencana penjualan, perhitungan biaya produksi dan bahan baku c. Pembuatan system data kinerja untuk kebutuhan monitoring perkembangan kelompok, terintegrasi dengan kinerja unit lainnya.	Kuantitas dan kualitas produk pupuk organik meningkat 25-30% Tersedia website monitoring perkembangan kelompok, terintegrasi dengan kinerja unit lainnya. pelaporan tersedia, income generating meningkat 40%

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

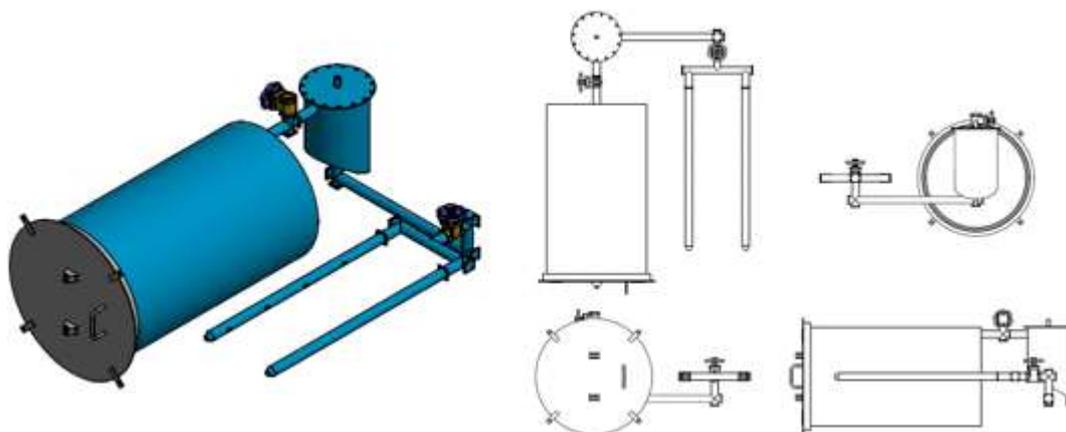
Pelaksanaan Kegiatan

Finalisasi desain dan teknologi melibatkan 3 Dosen pendamping program yaitu UGM Prof. Dr.rer.nat. Junun Sartohadi, M.Sc, Dr. Ngadisih dan Nur Ainun. Phd, tim pelaksana Tris Sugiarto M.T, Nurul Hidayati, M.T dan YB. Praharto. M.Eng. Bersama mahasiswa melakukan diskusi untuk finalisasi desain TTG dan proses manufaktur yang akan di lakukan dengan acuan mitigasinya. Kegiatan penyamaan persepsi dan detail engineering, dan manufaktur pembuatan mesin yang akan diterapkan ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Finalisasi desain dan Pembuatan TTG, (a,b). Desain akhir didiskusikan tim pendamping dan tim pelaksana, (c). Rangka di cat anti karat, (d). Pembuatan Flange, (e). Flange Cerobong, (f). Pembuatan Rangka Mesin pirolisis.

Teknologi Tepat Guna (TTG) yang akan diaplikasikan terutama adalah mesin pirolisis biomassa dengan tekanan tinggi dengan dilengkapi pencuci asap. Desain TTG ditunjukkan secara lengkap pada Gambar 4.





Gambar 4. Finalisasi teknologi pirolisis reaktor ganda dengan pencuci asap, (HKI Reaktor Ganda, 2024)

Pelaksanaan Forum diskusi group (FGD) melibatkan semua stake holder, yang terdiri dari mitra sasaran, pemerintah desa, penyuluh pertanian, membahas tentang permasalahan dan solusi yang akan diterapkan melalui program kosabangsa. Tahap lanjut dari FGD, dilakukan penguatan keilmuan operator sampah dan petani. Pelatihan pembuatan produk biochar dan penggunaan TTG dilaksanakan melalui metode pendekatan partisipatif yang melibatkan kelompok tani dan komunitas lokal. Metode ini mencakup pelatihan langsung di lapangan tentang cara mengoperasikan reaktor pirolisis, penggunaan biochar dalam lahan pertanian, serta teknik tata letak tanaman yang optimal.

Metode yang diterapkan melalui workshop langsung untuk memberikan solusi permasalahan teknis dalam pengelolaan sampah organik. Pelatihan bertujuan untuk mengatasi keterbatasan SDM dalam upaya meningkatkan produktivitas produksi, dan menciptakan sistem manajemen yang efektif. Penggunaan mesin pencuci asap sebagai bagian dari sistem produksi biochar juga diimplementasikan untuk mengurangi polusi udara selama proses pirolisis, sehingga teknologi ini memenuhi standar lingkungan.

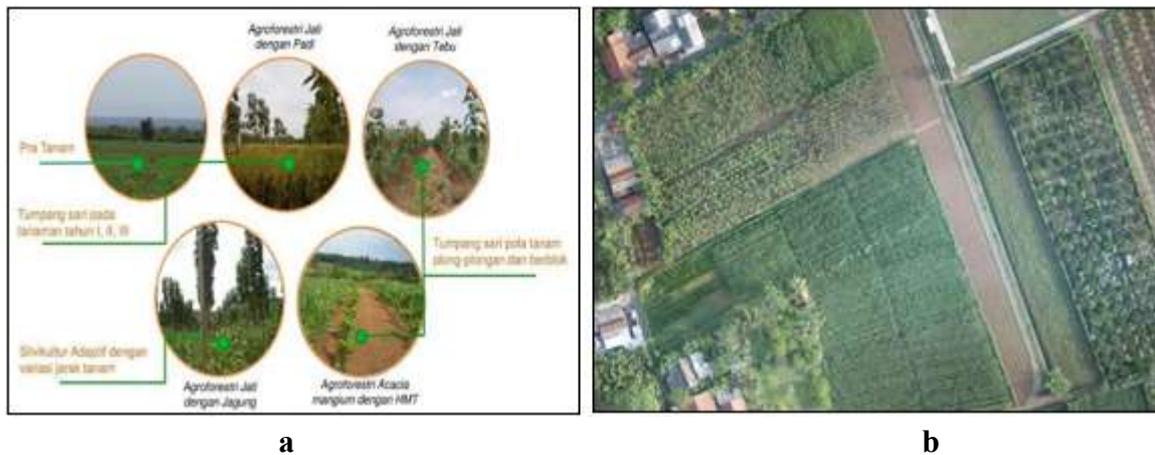
Pelatihan ini juga menitikberatkan aspek keberlanjutan dan praktik ramah lingkungan, sehingga meningkatkan pengetahuan dan keterampilan teknis warga untuk mendukung proses pengelolaan sampah organik. Kegiatan FGD dan workshop ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5 Aktifitas FGD dan workshop pengelola sampah dan kelompok tani (a). Penjelasan fungsi biochar, (b,c). Praktek penerapan biochar. (d). Mahasiswa melakukan pemetaan lahan, (e,d) Bahan biochar diperiksa kandungan anprganiknya.

Kegiatan Pemetaan Lahan dan penerapan tata leyak tanaman

Mahasiswa melakukan foto drone untuk memotret kondisi lahan dan untuk perbaikan tata letak tanaman sesuai potensi jenis tanaman yang dikelola petani. Desain dan foto drone ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 (a) Desain tata letak tanaman, (b), Hasil foto drone lahan mitra sasaran

Pelatihan Pemeliharaan Mesin Pencuci Asap Dan Sealer Paking Produk



Gambar 7 Teknologi pencuci asap wet scrubber dan mesin sealer

Kegiatan Penguatan Manajemen

Struktur manajemen diperkuat dengan pembagian tugas yang jelas antara tim pengelola produksi, pemasaran, dan distribusi. Penguatan manajemen dan produktifitas kerja diterapkan melalui penyusunan SOP (Standar Operasional Prosedur) dan mitigasi teknologi yang diterapkan. Pengelolaan mengacu upaya proses yang efisien dan sesuai dengan skala desa, serta integrasi teknologi informasi melalui pembuatan situs daring untuk memantau kinerja produksi dan pemasaran biochar. Tampilan website ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 8 Website kinerja dan layanan online produk daur ulang

Dengan situs ini, masyarakat dapat memanfaatkan layanan online untuk akses pasar yang lebih luas dan berkelanjutan. Pendekatan manajemen yang sistematis ini juga memperkuat komunikasi dan kolaborasi antar kelompok tani, pengelola sampah, dan pelaku industri kecil, menciptakan ekosistem pengelolaan sampah yang mandiri.

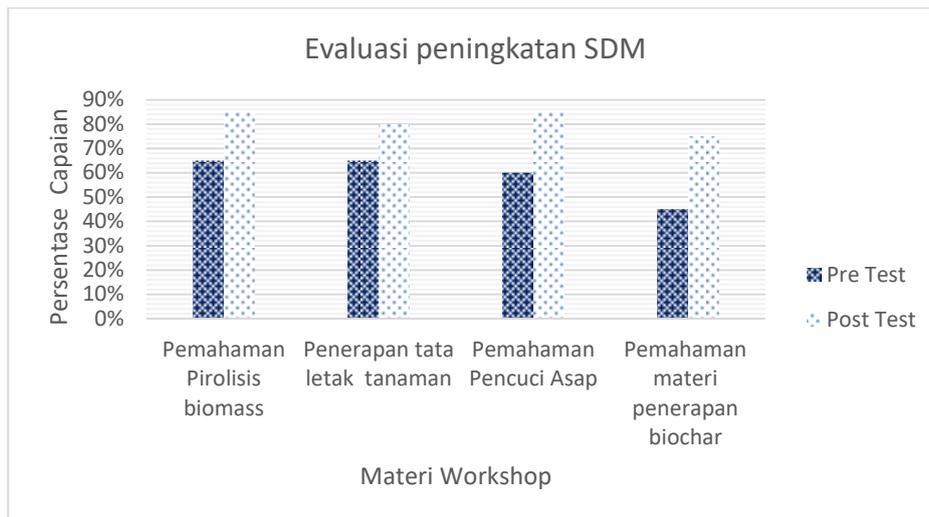
Pembahasan

Pelaksanaan program pengabdian melalui FGD, workshop di lokasi TPS-3R dan lahan pertanian, melibatkan semua pemangku kepentingan penguatan kemampuan teknis dan manajemen. Kegiatan berhasil meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah dan produk biochar yang berkualitas dengan minim kontaminasi plastik. Pelatihan secara langsung menggunakan teknologi tepat guna, meningkatkan keterampilan untuk mengoperasikan reaktor pirolisis, penerapan biochar pada lahan pertanian, serta tata letak tanaman yang optimal di lahan uji coba.

Berdasarkan pelaksanaan kegiatan telah dicapai antara lain : (1). Peningkatan aspek SDM, berdasarkan post test dicapai tingkat kompetensi teknis yang memadai rata-rata sebesar 80%. (2). Produksi Biochar dengan capaian produksi biochar sebesar 200 kg per hari, dengan kualitas yang sesuai standar uji kandungan karbon dan stabilitas. (3). Penggunaan mesin pencuci asap mereduksi residu berbahaya yang terkandung gas pembakaran sampah residu dapat merusak ekosistem. Berfokus pada 5 poin utama peningkatan wawasan dan pengetahuan dari hasil pre test dan post test ditampilkan pada Tabel 5 dan Gambar 9.

Tabel 5 Hasil evaluasi peningkatan aspek SDM

Materi Workshop	Tingkat Pemahaman SDM	
	Pre Test	Post Test
Pemahaman Pirolisis biomass	65%	85%
Penerapan tata letak tanaman	65%	80%
Pemahaman Pencuci Asap	60%	85%
Pemahaman materi penerapan biochar	45%	75%



Gambar 9 Hasil Evaluasi pemahaman dan pengetahuan mitra sasaran

Struktur manajemen diperkuat melalui penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) dan pembagian tugas yang jelas di antara tim produksi, pemasaran, dan distribusi. Capaian kegiatan dihasilkan keteraturan operasional dan produktivitas dengan waktu proses yang terukur untuk setiap tahap produksi, pemasaran, dan distribusi biochar. Dengan penggunaan TTG, termasuk mesin pencuci asap, program ini menargetkan pengurangan emisi dan pencemaran udara minimal sebesar 90% dibandingkan proses pirolisis tanpa sistem pencucian asap, pemantauan melalui pengukuran polutan di sekitar area produksi.

Pengembangan situs daring yang berfungsi sebagai platform pemantauan dan pemasaran biochar diharapkan memfasilitasi kinerja produksi yang transparan dan akses pemasaran lebih luas. Targetnya adalah menghasilkan peningkatan aksesibilitas dan penjualan produk biochar sebesar 30% pada akhir tahun pertama melalui promosi daring. Penerapan biochar pada lahan pertanian diharapkan menghasilkan peningkatan hasil panen sebesar 20% dibandingkan metode konvensional. Pencapaian ini akan dipantau melalui hasil panen uji coba di lahan yang terintegrasi biochar sebagai pembenah tanah.

Tahapan program pengabdian telah memenuhi target pengelolaan sampah organik berkelanjutan dalam upaya meningkatkan ketahanan pangan serta produktivitas ekonomi. Pendekatan terstruktur dengan capaian terukur ini akan membantu desa mencapai keberlanjutan lingkungan sekaligus meningkatkan taraf hidup masyarakat melalui peningkatan produktivitas lahan dan diversifikasi produk pertanian berbasis biochar.

Evaluasi dan Capaian Target

Tabel 6 Evaluasi pelaksanaan program program kosabangsa

Sebelum pelaksanaan	Sesudah pelaksanaan	Keberlanjutan
Mitra 1 dan 2, unit pirolisis plastik, sampah organik belum termanfaatkan, persentase sampah dimanfaatkan ulang (35%)	TTG reactor ganda mengoptimasi pirolisis plastik dan bahan biomass, [TTG-1], sistem self sufficient bahan bakar memanfaatkan gas methane, hemat energi, mereduksi volume sampah timbunan dihanggar	Pemanfaatan sampah proses lanjut menjadi produk bernilai ekonomis, berupa minyak dan biochar untuk mendukung tata Kelola lahan kritis. Kemandirian energi dan mereduksi timbunan sampah dihanggar.

Mitra 1, KSM sudah memiliki pembakar sampah konvensional, tetapi asap sangat mengganggu lingkungan	TTG pencuci asap akan digunakan untuk incinerator dan proses pembakaran residu reaktor pirolisis	Mereduksi emisi, pembakaran konvensional dan asap pembakaran sampah residu pemanas reaktor.
Mitra 2, belum memiliki produk jual pupuk yang unggul, pembuatan pupuk organik masih konvensional, bersifat lokal.	TTG paking pupuk padat dan bichar, mengoptimalkan potensi bahan baku limbah pertanian, daun, kulit durian, dan bahan organik dari sampah	Peningkatan kualitas biochar dan pupuk, memperkuat penetrasi pasar, dengan paking yang menarik akan meningkatkan nilai jual dan keekonomiaanya.
Manajemen kelompok konvensional, pencacatan manual, Pemasaran produk lokal, kemasan dan spesifikasi produk belum marketable	Peningkatan keberdayaan manajemen, akuntabilitas pembukuan, Teralisasi website monitoring kinerja, pemasaran lebih luas, spesifikasi produk, pendapatan setiap anggota meningkat minimal 30%	Produk lebih bervariasi, peningkatan produktifitas, Pemasaran produk terspesifikasi (uji komposisi), website, monitoring kinerja, menjadi unit produktif yang maju

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

1. Pelaksanaan berhasil meningkatkan kapasitas teknis dan manajemen bagi operator sampah dan petani melalui pelatihan intensif, sehingga mereka mampu mengoperasikan reaktor pirolisis dan memproduksi biochar secara mandiri dan efisien. Kompetensi ini diukur melalui peningkatan hasil uji keterampilan peserta hingga mencapai 80% dari target.
2. Produksi biochar telah tercapai dengan standar kualitas yang baik, didukung oleh teknologi pencucian asap yang mengurangi emisi hingga 90%. Biochar yang dihasilkan menjadi produk daur ulang yang dijual untuk meningkatkan pendapatan kelompok.
3. Penguatan struktur manajemen dan integrasi teknologi informasi melalui situs daring memfasilitasi pemantauan kinerja produksi, pemasaran biochar, dan akses pasar yang lebih luas, menghasilkan peningkatan distribusi produk biochar hingga 30%.

Saran

- 1 Untuk keberlanjutan program, membutuhkan adanya pelatihan lanjutan secara berkala agar keterampilan operator dan petani terus berkembang, serta menjaga kualitas dan volume produksi biochar yang stabil.
- 2 Perluasan integrasi biochar di berbagai lahan pertanian desa secara bertahap akan memperkuat dampak positifnya terhadap ketahanan pangan dan kesejahteraan petani, sehingga potensi biochar sebagai pembenah tanah bisa dimanfaatkan secara optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Pelaksana Pengabdian mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia melalui

pendanaan Program Kosabangsa, Tim Pendamping Universitas Gajah Mada, Civitas Akademik STT Wiworotomo Purwokerto atas fasilitasi proses fabrikasi dan Pemerintah Desa Rawalo sehingga kegiatan terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Awad, Y. M., Lee, S. S., Kim, K. H., Ok, Y. S., & Kuzyakov, Y. (2018). Carbon and nitrogen mineralization and enzyme activities in soil aggregate-size classes: Effects of biochar, oyster shells, and polymers. *Chemosphere*, 198, 40–48. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2018.01.034>
- Ayaz, M., Feizienė, D., Tilvikienė, V., Akhtar, K., Stulpinaitė, U., & Iqbal, R. (2021). Biochar role in the sustainability of agriculture and environment. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13031330>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2020). *Indeks Risiko Bencana Indonesia Badan Nasional Penanggulangan Bencana*. <https://inarisk.bnpb.go.id>. <https://inarisk.bnpb.go.id/irbi>
- BPS Kabupaten Banyumas. (2001). *Kabupaten Banyumas dalam Angka 2000*.
- BPS Provinsi Jawa Tengah. (2023). *Data Kabupaten Miskin Jawa Tengah Tahun 2023*. <https://jateng.bps.go.id>. <https://jateng.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzQjMg==/undefined>
- Daraei, E., Bayat, H., & Gregory, A. S. (2024). Impact of natural biochar on soil water retention capacity and quinoa plant growth in different soil textures. *Soil and Tillage Research*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106281>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2019). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.75/MENLHK/SETJEN/KUM.1/10/2019 tentang Peta Jalan Pengurangan Sampah Oleh Produsen*. 53(9), 1689–1699.
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/1775330>
- Pandey, D., Daverey, A., & Arunachalam, K. (2020). Biochar: Production, properties and emerging role as a support for enzyme immobilization. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120267. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120267>
- Panjaitan, E., Indradewa, D., Martono, E., & Sartohadi, J. (2015). Sebuah Dilema Pertanian Organik Terkait Emisi Metan (A Dilemma on Organic Farming in Relation to Methane Emission). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 22(1), 66. <https://doi.org/10.22146/jml.18726>