

PEMBERDAYAAN MASYARAKAT MANGGAR MELALUI INOVASI BIOPELET SRF BERBASIS CAMPURAN LIMBAH KAYU DAN SAMPAH ORGANIK UNTUK Mendukung EKONOMI Sirkular

Lusi Ernawati^{1*}, Rizqy Romadhona Ginting², Asful Hariyadi³, Rizka Lestari⁴,
Nita Ariestiana Putri⁵, Aryo Setyo Nugroho⁶, Azis Andi Nugroho⁷,
Arif Fadhlur Rohman⁸, Julio Firhan Hidayat Gazali⁹, Ariel Guntur Pamungkas¹⁰

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10}Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia

lusiernawati@lecturer.itk.ac.id

ABSTRAK

Abstrak: Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan memberdayakan pekerja dan komunitas sekitar tempat pemrosesan akhir sampah (TPAS) dalam mengolah sampah organik dan limbah kayu menjadi biopelet sebagai bahan bakar alternatif co-firing biomassa pada PLTU. Metode pelaksanaan mencakup tiga tahapan, yaitu pra-kegiatan berupa identifikasi potensi dan koordinasi mitra, pelaksanaan melalui sosialisasi ekonomi sirkular dan pelatihan teknis produksi biopelet meliputi pengeringan, pencacahan, pencampuran, pencetakan, dan pendampingan operasional, serta evaluasi melalui uji mutu produk dan survei kepuasan peserta. Hasil evaluasi menunjukkan biopelet yang dihasilkan memenuhi spesifikasi umum co-firing biomassa dengan kadar air 8–12%, nilai kalor 3.300–4.100 kkal/kg, dan kadar abu 7–10%. Survei terhadap 25 peserta mencatat respons positif rata-rata 80%, dengan 86% melaporkan peningkatan keterampilan teknis dan 72% menyatakan minat melanjutkan produksi secara berkelanjutan. Program ini terbukti meningkatkan kapasitas sumber daya manusia, mengurangi beban timbunan sampah, serta membuka peluang usaha berbasis energi terbarukan yang berpotensi direplikasi pada TPAS lain.

Kata Kunci: Biopellet; Ekonomi Sirkular; Co-Firing Biomassa; Solid Recovered Fuel.

Abstract: This community service program aimed to empower workers and residents surrounding an urban municipal solid waste landfill (TPAS) to process organic waste and wood residue into biopellets for biomass co-firing fuel for PLTU. Implementation comprised three phases: pre-activity, involving potential identification and partner coordination; implementation, encompassing circular economy socialization and technical training in biopellet production covering drying, shredding, blending, molding, and operational mentoring; and evaluation through product quality testing and participant satisfaction surveys. Quality assessments confirmed that the biopellets produced met general co-firing biomass specifications, achieving moisture content of 8–12%, calorific value of 3,300–4,100 kcal/kg, and ash content of 7–10%. A survey of 25 participants recorded an average positive response rate of 80%, with 86% reporting improved technical skills and 72% expressing interest in continuing production. The program demonstrably enhanced human resource capacity, reduced landfill waste accumulation, and created renewable energy-based livelihood opportunities replicable at other sites.

Keywords: Biopellets, Circular Economy, Co-Firing Biomass, Solid Recovered Fuel.



Article History:

Received: 25-02-2026

Revised : 10-03-2026

Accepted: 13-03-2026

Online : 03-06-2026



This is an open access article under the

CC-BY-SA license

A. LATAR BELAKANG

Permasalahan pengelolaan sampah perkotaan menjadi tantangan serius di berbagai kota besar Indonesia, termasuk di kawasan tempat pemrosesan akhir sampah (TPAS) Manggar yang setiap harinya menerima ratusan ton sampah kota. Secara umum, komposisi sampah perkotaan di Indonesia didominasi oleh sampah organik ($\pm 55\text{--}60\%$), plastik dan residu non-daur ulang ($\pm 25\text{--}30\%$), serta material lain seperti kertas, tekstil, dan kayu (Harfadli et al., 2025). Sebagian besar sampah organik bercampur dan residu non-daur ulang ini tidak tertangani secara optimal melalui skema daur ulang konvensional sehingga berakhir di landfill dan berpotensi menghasilkan emisi gas metana (CH_4) yang berkontribusi pada perubahan iklim. Sampah padat organik yang tidak dapat didaur ulang, seperti residu kayu, tekstil kotor, plastik multilayer, dan fraksi biomassa tercampur, pada hakikatnya memiliki nilai kalor yang cukup untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku *Solid Recovered Fuel* (SRF) (Lee et al., 2024; Sieradzka et al., 2025; Yuniarti et al., 2024). Berdasarkan karakteristik umum limbah campuran perkotaan, nilai kalor SRF dapat berada pada kisaran 3.500–4.000 kcal/kg tergantung kadar air dan komposisi fraksi mudah terbakar, sehingga membuka peluang konversi sampah menjadi bahan bakar alternatif melalui proses pencacahan, pengeringan, dan pemadatan menjadi pellet (Čespiva et al., 2025; Cui et al., 2021; Ting et al., 2025).

Peningkatan timbunan sampah perkotaan yang tidak diimbangi dengan kapasitas pengolahan yang memadai telah menjadi tantangan serius dalam pengelolaan lingkungan di berbagai daerah. Sistem penimbunan (landfilling) yang masih dominan menyebabkan akumulasi residu dalam jumlah besar, mempercepat keterbatasan daya tampung lahan, serta berpotensi menimbulkan dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca, pencemaran lindi, dan gangguan kesehatan masyarakat sekitar (Mulya et al., 2023). Di sisi lain, komposisi sampah yang masuk ke TPAS masih didominasi fraksi organik dan sampah non-daur ulang yang sebenarnya memiliki potensi nilai kalor cukup tinggi apabila diolah dengan pendekatan teknologi yang tepat. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi sumber daya yang terkandung dalam sampah dan praktik pengelolaan yang masih berorientasi pada pembuangan akhir (Ernawati et al., 2026).

Dalam konteks transisi menuju pengelolaan sampah berkelanjutan, inovasi teknologi pengolahan sampah menjadi pellet SRF menjadi solusi strategis yang relevan dan aplikatif (Ernawati et al., 2025a). Teknologi ini mengonversi sampah padat non-daur ulang melalui proses pemilahan, pencacahan, pengeringan, dan pemadatan menjadi bahan bakar alternatif berbentuk pelet dengan karakteristik nilai kalor yang lebih stabil dan kadar air yang terkendali (Rahotharn et al., 2023; Sieradzka et al., 2025). Implementasi teknologi SRF tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan volume sampah yang ditimbun, tetapi juga mentransformasikan paradigma pengelolaan sampah dari "kumpul-angkut-

buang" menjadi "olah-guna ulang-beri nilai tambah". Dengan demikian, pendekatan ini selaras dengan prinsip ekonomi sirkular yang menekankan pemanfaatan kembali sumber daya dalam siklus tertutup untuk meminimalkan limbah (Fitrianingrum & Surjasatyo, 2023). Lebih lanjut, pemanfaatan pellet SRF sebagai bahan bakar alternatif membuka peluang sinergi dengan sektor energi melalui skema co-firing biomassa pada pembangkit listrik tenaga uap, sekaligus memberikan nilai ekonomi tambahan bagi pengelola TPAS dan masyarakat sekitar (Kuncara et al., 2024).

Sejumlah penelitian terdahulu telah membuktikan kelayakan teknis produksi biopellet berbasis campuran biomassa dan sampah organik. Rahoatharn et al. (2023) dalam studinya di fasilitas landfill Thailand menunjukkan bahwa sampah residu yang telah distabilisasi mampu diproses menjadi RDF berkualitas dengan nilai kalor yang memenuhi standar penggunaan bahan bakar terbarukan. Sieradzka et al. (2025) dalam penelitiannya tentang gasifikasi RDF menegaskan bahwa pendekatan ini sesuai dengan prinsip ekonomi sirkular karena mampu mengintegrasikan pemulihan energi dari sampah padat perkotaan yang tidak dapat didaur ulang. Secara lebih spesifik, Ernawati et al. (2025b) membuktikan bahwa variasi komposisi campuran limbah biomassa dan kalsium oksida (CaO) secara signifikan memengaruhi karakteristik peletisasi RDF, khususnya pada parameter densitas, durabilitas, dan nilai kalor. Penelitian lanjutan Ernawati et al. (2025c) mengonfirmasi bahwa campuran serbuk kayu kasar-halus dengan penambahan CaO menghasilkan pelet dengan kadar air dan sifat fisik yang konsisten, sehingga cocok diaplikasikan pada bahan baku berbasis sampah TPAS. Temuan-temuan ini secara kolektif membangun landasan ilmiah yang kuat bahwa teknologi biopellet SRF bukan hanya layak secara teknis, tetapi juga dapat disesuaikan dengan karakteristik sampah lokal di Indonesia.

Pada dimensi co-firing biomassa dan pemberdayaan masyarakat, kajian-kajian mutakhir semakin memperkuat relevansi program ini. Analisis komprehensif di tingkat nasional Indonesia menegaskan bahwa pemanfaatan biomassa dari sampah pertanian, kehutanan, dan perkotaan sebagai bahan bakar co-firing PLTU mampu mengurangi emisi karbon tanpa memicu alih fungsi lahan, menjadikan RDF berbasis sampah sebagai opsi strategis bagi transisi energi nasional (Sidabutar et al., 2025; Zhang et al., 2026). Fitrianingrum & Surjasatyo (2023) melalui analisis tekno-ekonomi co-firing RDF pada PLTU menemukan bahwa model ini layak secara finansial apabila didukung oleh rantai pasok bahan baku yang terkelola dengan baik. Di sisi keterlibatan komunitas lokal dalam penyediaan bahan baku co-firing merupakan faktor penentu keberlanjutan program, mengingat tantangan utama *co-firing* di Indonesia berkaitan dengan kepastian pasokan dan kapasitas sumber daya manusia di lapangan (Ernawati et al., 2023; Maulana et al., 2020). Konversi sampah perkotaan menjadi energi melalui pendekatan

berbasis masyarakat memberikan nilai ganda, yakni pengurangan beban landfill dan penguatan ekonomi local (Adnyani et al., 2025; Ferronato et al., 2024). Secara keseluruhan, literatur ini menunjukkan bahwa integrasi antara teknologi SRF, skema co-firing, dan pemberdayaan komunitas merupakan pendekatan yang saling melengkapi dan memiliki dampak berlapis.

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang mengusung inovasi teknologi pellet SRF di TPAS perkotaan menjadi penting untuk menjawab tantangan teknis, sosial, dan kelembagaan dalam implementasinya. Pendampingan teknis, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, serta penguatan kolaborasi multipihak merupakan aspek kunci dalam memastikan keberlanjutan program. Keterlibatan masyarakat sebagai aktor utama dalam rantai produksi SRF tidak hanya memastikan keberlanjutan operasional, tetapi juga memperkuat ikatan sosial dan kemandirian ekonomi komunitas sekitar TPAS (Mulya et al., 2023).

Berdasarkan tinjauan permasalahan dan penelitian terdahulu di atas, teridentifikasi kesenjangan yang signifikan antara potensi ilmiah teknologi biopellet SRF yang telah terdokumentasi secara akademis dengan minimnya program pemberdayaan yang secara sistematis mengintegrasikan aspek teknis produksi, pelatihan masyarakat, dan evaluasi berbasis data lapangan secara sekaligus. Program pengabdian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengimplementasikan model pemberdayaan yang komprehensif, terukur, dan berorientasi pada keberlanjutan. Dengan demikian, latar belakang ini menegaskan urgensi transformasi pengelolaan sampah berbasis inovasi teknologi sebagai solusi strategis dalam mengurangi timbulan sampah yang ditimbun sekaligus mendukung implementasi ekonomi sirkular secara nyata di tingkat lokal.

B. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan dengan pendekatan partisipatif dan berbasis pemberdayaan komunitas melalui tiga tahapan yang terstruktur, yaitu pra-kegiatan, pelaksanaan, dan evaluasi. Program ini melibatkan dua kelompok mitra utama, yakni pengelola UPTD TPAS Manggar, serta mitra industri yaitu PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Kalimantan Timur. Jumlah peserta yang terlibat langsung dalam program ini sebanyak 25 orang, terdiri atas 21 pekerja TPAS dan 4 *local hero* dari kalangan pengepul dan pemilah sampah di kelurahan setempat. Secara keseluruhan, metode yang diterapkan mengombinasikan pendekatan teknis, edukatif, dan kelembagaan guna memastikan keberlanjutan program pasca-pendampingan.

1. Tahap Pra-Kegiatan: Persiapan, Koordinasi, dan Analisis

Tahap awal difokuskan pada konsolidasi pemangku kepentingan melalui koordinasi dengan pengelola TPAS, pemerintah daerah melalui Dinas Lingkungan Hidup, serta mitra industri energi. Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan teknis dan kapasitas eksisting pengelolaan residu sampah, pemetaan potensi pasokan bahan baku SRF berdasarkan volume timbulan dan pola harian sampah, serta survei lapangan untuk menganalisis komposisi dan karakteristik sampah residu yang tidak terkelola melalui skema daur ulang konvensional. Seluruh hasil identifikasi ini kemudian dijadikan dasar penyusunan rencana kerja teknis dan sosial, termasuk pembagian peran antar mitra.

Masih dalam tahap pra-kegiatan, dilakukan pula analisis karakteristik sampah secara kuantitatif sebagai dasar perancangan proses produksi pellet SRF. Sampel residu sampah diambil secara representatif dari beberapa titik timbunan dan dianalisis di laboratorium, mencakup parameter kadar air untuk menentukan kebutuhan pengeringan, nilai kalor sebagai indikator potensi energi, ukuran partikel dan distribusi fraksi untuk desain pencacahan, serta kadar abu sebagai indikator residu pembakaran.

2. Tahap Pelaksanaan: Instalasi, Pelatihan, dan Pendampingan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di kelurahan yang berlokasi di sekitar TPAS dengan pendekatan partisipatif dan berbasis pemberdayaan masyarakat. Tahap pelaksanaan dimulai dari instalasi dan uji operasional peralatan, yang meliputi pemasangan unit mesin pencacah (*shredder/wood crusher*) dan mesin *pelletizer* di area TPAS. Tata letak peralatan dirancang mempertimbangkan alur material, aspek keselamatan kerja, serta efisiensi energi, guna memastikan bahwa produk SRF yang dihasilkan memenuhi standar mutu teknis sebelum dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.

Setelah instalasi selesai, dilaksanakan pelatihan dan pemberdayaan masyarakat secara partisipatif dengan menempatkan peserta sebagai pelaku utama program. Pelatihan mencakup pengoperasian dan perawatan mesin pencacah serta *pelletizer*, prosedur keselamatan dan kesehatan kerja (K3), pengendalian mutu produk, serta manajemen produksi dan pencatatan operasional. Seluruh sesi pelatihan dilakukan secara demonstratif dan praktik langsung agar transfer pengetahuan dan keterampilan dapat berlangsung efektif. Pendampingan operasional diberikan secara berkelanjutan sepanjang tahap pelaksanaan untuk memastikan konsistensi kualitas produksi.

3. Tahap Evaluasi: Penguatan Kelembagaan dan Penilaian Dampak

Tahap akhir merupakan fase strategis untuk menjamin keberlanjutan program. Pendampingan dilakukan dalam bentuk monitoring rutin, asistensi teknis, serta fasilitasi penguatan kelompok usaha berbasis masyarakat. Penguatan kelembagaan mencakup pembentukan struktur organisasi kelompok, penyusunan tugas dan tanggung jawab anggota, penyusunan SOP produksi dan distribusi, serta pengenalan manajemen usaha sederhana yang meliputi pencatatan biaya produksi, analisis margin, perhitungan *break-even point*, dan strategi pemasaran.

Evaluasi program dilakukan dengan pendekatan komparatif sebelum dan sesudah pelaksanaan kegiatan (*pre-post evaluation*). Penilaian mencakup empat dimensi secara terintegrasi. Dari aspek teknis, diukur peningkatan volume limbah yang dimanfaatkan menjadi SRF beserta konsistensi kualitas produk. Dari aspek sosial, dinilai peningkatan keterampilan, partisipasi aktif, dan kapasitas manajerial kelompok masyarakat. Dari aspek lingkungan, diestimasi potensi pengurangan timbunan residu di landfill dan reduksi emisi gas rumah kaca secara tidak langsung. Terakhir, dari aspek ekonomi, dikaji peluang pendapatan tambahan, efisiensi biaya pengelolaan limbah, serta potensi kemitraan dengan sektor energi.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat ini berlangsung melalui tiga tahapan yang saling berkesinambungan, yaitu tahap pra-kegiatan, tahap pelaksanaan, dan tahap evaluasi. Setiap tahapan menghasilkan luaran yang terukur, baik dari sisi teknis produksi biopellet maupun dari sisi peningkatan kapasitas masyarakat. Berikut dipaparkan proses berjalannya kegiatan beserta hasil yang dicapai pada masing-masing tahapan.

1. Tahap Pra-Kegiatan: Observasi Lapangan dan Koordinasi Mitra

Tahap pra-kegiatan difokuskan pada observasi lapangan, pemetaan potensi bahan baku, dan konsolidasi mitra program. Tim pelaksana melakukan kunjungan langsung ke lokasi TPAS untuk memahami kondisi eksisting pengelolaan sampah, mengidentifikasi jenis dan volume residu yang tersedia, serta menilai kesiapan sarana dan prasarana. Berdasarkan hasil observasi, diperoleh data awal bahwa komposisi sampah yang masuk ke TPAS didominasi oleh fraksi organik sebesar 55–60% dan limbah kayu sebesar 10–15%, dengan rata-rata timbulan harian mencapai 320–400 ton. Data ini menjadi dasar perancangan formulasi campuran bahan baku biopellet yang akan diproduksi pada tahap berikutnya.

Pelaksanaan proyek pengolahan sampah di TPAS Manggar yang dilaksanakan melalui pendampingan teknis oleh Tim SRF ITK bersama local hero dari kalangan pengepul dan pemilah sampah warga Kelurahan Manggar. Alur kegiatan dimulai dari tahap observasi lapangan dan identifikasi potensi, di mana tim melakukan kunjungan langsung ke lokasi

pengolahan sampah untuk memahami kondisi eksisting, jenis limbah yang tersedia, serta kesiapan sarana prasarana. Pada tahap ini terjadi diskusi awal antara tim pendamping dan pelaku lapangan mengenai permasalahan teknis, kapasitas produksi, serta peluang peningkatan nilai tambah sampah. Selanjutnya dilakukan kegiatan sosialisasi dan pelatihan kepada kelompok mitra. Dalam sesi ini, Tim SRF ITK memberikan pemaparan mengenai konsep pengolahan sampah berbasis sumber daya, alur proses produksi, aspek keselamatan kerja, serta potensi pasar produk hasil olahan. Para local hero yang merupakan pengepul dan pemilah sampah berperan aktif sebagai penghubung antara tim akademisi dan masyarakat.

2. Tahap Pelaksanaan: Sosialisasi, Pelatihan Teknis, dan Produksi Biopellet

Tahap pelaksanaan mencakup kegiatan sosialisasi konsep ekonomi sirkular, pelatihan teknis produksi biopellet, pendampingan operasional mesin, serta uji produksi perdana menggunakan bahan baku hasil pemilahan sampah. Seluruh kegiatan dirancang secara partisipatif dengan menempatkan peserta sebagai pelaku aktif, bukan sekadar penerima manfaat pasif. Tahap berikutnya adalah demonstrasi dan praktik teknis penggunaan mesin pengolahan, mulai dari proses pencacahan, penggilingan, hingga pencetakan atau pembentukan produk. Tim SRF ITK mendampingi secara langsung proses instalasi, perakitan, serta uji coba peralatan untuk memastikan mesin beroperasi optimal dan aman. Peserta pelatihan dilibatkan secara langsung dalam pengoperasian mesin, termasuk pengaturan parameter teknis dan perawatan dasar, sehingga kapasitas teknis masyarakat meningkat secara signifikan. Setelah mesin berfungsi dengan baik, dilakukan uji produksi menggunakan bahan baku hasil pemilahan sampah dari TPAS Manggar. Proses ini mencakup penyiapan bahan, pengolahan, hingga pengeringan atau finishing produk, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi sampah organik dan limbah kayu untuk bahan baku pembuatan biopellet SRF

Rasio komposisi sampah	Pellet (a) gram	Pellet (b) gram	Pellet (c) gram	Pellet (d) gram
Serbuk kayu kasar	1000	1000	1000	1000
Serbuk kayu halus	1000	1000	1000	1000
Sampah organik	2000	1500	1000	0
Kalsium oksida	80	70	60	20
Total berat sampel	4080	3570	3060	2020

Tabel 1 menyajikan empat formulasi campuran bahan baku biopellet yang dikembangkan untuk menguji pengaruh komposisi terhadap kualitas produk akhir. Variasi dilakukan pada rasio antara sampah organik dan penambahan kalsium oksida (CaO) sebagai aditif, sementara komposisi serbuk kayu kasar dan halus dibuat tetap.

Tabel 2. Hasil uji proximate biopellet SRF

Parameter	Pellet (a)	Pellet (b)	Pellet (c)	Pellet (d)
Kadar air (%)	9,12	10,15	9,27	9,16
Nilai Kalor (kcal/kg)	3360	3619	4117	3816
Kadar abu (%)	8,78	7,29	8,51	9,12
Fixed carbon (%)	17,31	15,29	16,33	14,26
Volatile matter (%)	62,11	64,17	63,22	67,19
Densitas (g/cm ³)	0,96	1,14	0,94	1,09
Ukuran Pelet (mm)	10	10	10	10

Hasil uji *proximate* pada Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh variasi biopellet memenuhi kriteria umum sebagai bahan bakar alternatif, meskipun terdapat perbedaan karakteristik yang signifikan antar formulasi. Nilai kalor tertinggi dicapai oleh Pellet (c) sebesar 4117 kkal/kg, mengindikasikan bahwa komposisi seimbang antara serbuk kayu dan sampah organik (1:1:1) menghasilkan sinergi terbaik untuk nilai energi. Sebaliknya, Pellet (a) dengan kadar sampah organik tertinggi justru memiliki nilai kalor terendah (3360 kkal/kg) dan kadar abu yang relatif tinggi (8,78%). Data ini membuktikan bahwa pencampuran sampah organik dengan kayu tidak hanya bertujuan mengurangi volume sampah, tetapi juga dapat menjadi strategi untuk "memperbaiki" karakteristik bahan bakar jika dilakukan pada komposisi yang tepat, seperti yang ditunjukkan oleh formulasi (c).

Tabel 3. Overall parameter uji pellet berdasarkan SNI

Parameter	Standar Umum Co-Firing	Hasil Uji Biopellet TPAS Manggar	Metode Uji
Kadar Air (%)	<12	8–12	Oven Dry
Nilai Kalor (kcal/kg)	>3.500	3.300–4.100	Bomb Calorimeter
Kadar Abu (%)	<10	6–11	Proximate
Densitas (g/cm ³)	>0,8	0,9	ASTM D2395
Ukuran Pelet (mm in diameter)	6–10	10	Standar Mesin

Validasi mutu biopellet produksi TPAS Manggar terhadap standar umum co-firing biomassa disajikan pada Tabel 3, yang mengonfirmasi kelayakan teknis produk sebagai substitusi bahan bakar di PLTU. Seluruh parameter utama, yaitu kadar air (8-12%), nilai kalor (3.300-4.100 kkal/kg), dan densitas (>0,9 g/cm³), berada dalam rentang yang dipersyaratkan (International Organization for Standardization, 2011), menunjukkan bahwa proses pengeringan, pencetakan, dan pemadatan telah berjalan dengan baik. Meskipun nilai kalor terendah (3.300 kkal/kg) berada sedikit di bawah standar ideal >3.500 kkal/kg, angka ini masih dapat ditoleransi dalam skema co-firing karena pencampuran dengan batubara akan meratakan kualitas akhir bahan bakar.

Gambar 1 menunjukkan rangkaian kegiatan audiensi dan sosialisasi teknis yang dilakukan oleh Tim SRF ITK kepada para pengepul dan pemilah sampah di wilayah sekitar TPAS Manggar sebagai bagian dari tahap awal

penguatan kolaborasi program pengolahan sampah. Secara keseluruhan, strategi pendekatan yang komprehensif dan berbasis komunitas, dimulai dari observasi lapangan, audiensi langsung dengan pengepul, hingga sosialisasi teknis secara partisipatif. Upaya ini menunjukkan komitmen Tim SRF ITK dalam membangun kolaborasi yang inklusif dan berkelanjutan, guna mendorong peningkatan kapasitas pengelolaan sampah di wilayah sekitar TPAS Manggar melalui pemberdayaan para pelaku lokal sebagai mitra utama dalam implementasi program.



Gambar 1. Rangkaian kegiatan audiensi dan sosialisasi teknis dengan para pengepul dan pemilah sampah kelurahan Manggar oleh Tim SRF ITK

Kegiatan kunjungan dan peninjauan proyek biopellet SRF ITK di TPAS Manggar oleh tim PT PLN Nusantara Power UP Kaltim Teluk menjadi bagian penting dalam tahapan evaluasi implementasi program pengabdian masyarakat berbasis teknologi tepat guna dan ekonomi sirkular (Gambar 2). Kunjungan ini tidak hanya berfungsi sebagai monitoring teknis terhadap kinerja mesin pelletizer dan kualitas produk biopellet yang dihasilkan dari limbah padat non-daur ulang, tetapi juga sebagai bentuk dukungan institusional terhadap model pemberdayaan masyarakat sekitar TPAS dalam mengolah residu sampah menjadi bahan bakar alternatif untuk co-firing PLTU. Dengan demikian, kegiatan ini merefleksikan integrasi antara inovasi teknologi, peningkatan kapasitas masyarakat, dan komitmen transisi energi rendah karbon yang berkontribusi pada pengurangan beban landfill sekaligus mendukung bauran energi terbarukan nasional.



Gambar 2. Kunjungan dan peninjauan proyek biopellet SRF oleh perwakilan divisi Gudang bahan bakar Padat PT PLN Nusantara power UP Kaltim Teluk.

3. Tahap Evaluasi: Penilaian Dampak dan Respons Peserta

Tahap evaluasi dilakukan untuk mengukur dampak program secara menyeluruh, mencakup aspek teknis, sosial, lingkungan, dan ekonomi. Evaluasi lapangan dilaksanakan melalui survei terstruktur yang melibatkan 25 responden, terdiri atas 21 pekerja TPAS dan 4 *local hero* dari kalangan pengepul dan pemilah sampah setempat. Instrumen survei dirancang untuk menggali persepsi peserta terhadap manfaat program, peningkatan keterampilan teknis, keberlanjutan produksi, potensi ekonomi sirkular, serta dampak lingkungan dari kegiatan pengolahan sampah. Data hasil evaluasi lapangan secara lengkap disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Evaluasi Lapangan Program Pemberdayaan Masyarakat TPAS melalui Inovasi Biopelet SRF

Dimensi Evaluasi	Item	Pernyataan	Tidak Setuju (n)	Setuju (n)	Total Responden	Respons Positif (%)
Perilaku Pengelolaan Sampah	P-1	Sampah sebaiknya dibuang setiap hari	2	23	25	92
	P-2	Sampah dibuang ketika mengeluarkan bau	3	22	25	88
	P-3	Pengolahan sampah adalah tanggung jawab semua pihak	4	21	25	84
Kesadaran Pemilahan Sampah	P-4	Pemilahan sampah sangat penting dilakukan	0	25	25	100
	P-5	Tanpa pemilahan, volume sampah akan bertambah	0	25	25	100
	P-6	Tanpa pemilahan, sampah akan terus menumpuk di TPA	2	23	25	92
Dampak Program Biopelet SRF	Q-1	Program memberikan dampak sosial yang bermanfaat	5	20	25	82
	Q-2	Program berpotensi meningkatkan keterampilan teknis	3	22	25	86
	Q-3	Produksi biopelet SRF berpotensi untuk dilanjutkan	7	18	25	72
	Q-4	Produksi biopelet berpotensi meningkatkan ekonomi sirkular	6	19	25	76
	Q-5	Program berpotensi mengurangi timbunan sampah di landfill	4	21	25	84

Pada dimensi perilaku pengelolaan sampah, mayoritas responden menunjukkan kesadaran yang baik terhadap praktik pengelolaan sampah sehari-hari. Item P-1 mencatat respons positif sebesar 92%, di mana sekitar 22 responden sangat setuju bahwa sampah sebaiknya dibuang setiap hari. Item P-2 menunjukkan 88% respons positif, dengan sekitar 20 responden sangat setuju bahwa sampah harus dibuang ketika mengeluarkan bau. Pada

item P-3, sebanyak 84% responden menyepakati bahwa pengolahan sampah merupakan tanggung jawab semua pihak, meskipun terdapat sekitar 3 responden yang masih ragu-ragu terhadap pernyataan ini. Data ini secara umum menunjukkan tingkat kesadaran masyarakat yang cukup baik, namun mengindikasikan pula bahwa masih terdapat persepsi tertentu yang perlu diluruskan, khususnya terkait praktik pembuangan dan pembakaran sampah di lingkungan padat.

Pada dimensi kesadaran pemilahan sampah, hasil yang dicapai sangat signifikan. Item P-4 dan P-5 masing-masing mencatat respons positif sebesar 100%, di mana seluruh responden menyatakan setuju bahwa pemilahan sampah sangat penting dilakukan dan bahwa tanpa pemilahan volume sampah akan terus bertambah. Item P-6 mencatat 92% respons positif, dengan mayoritas responden menyetujui bahwa tanpa pemilahan sampah akan terus menumpuk di TPA, meskipun sebagian kecil masih menyatakan tidak setuju pada pernyataan ini. Dominasi jawaban "Sangat Setuju" pada ketiga item pemilahan ini memperkuat tingkat kesadaran kolektif masyarakat dan mengindikasikan bahwa peserta program telah memiliki pemahaman yang matang mengenai urgensi pemilahan sebagai langkah awal pengelolaan sampah berkelanjutan. Kondisi ini sekaligus menjadi modal sosial yang strategis bagi keberlanjutan program, karena pemilahan sampah di sumber merupakan prasyarat utama ketersediaan bahan baku biopellet yang berkualitas dan konsisten.

Pada dimensi dampak program biopellet SRF, survei mencatat respons positif dalam rentang 72–86% dengan rata-rata keseluruhan sebesar 80%. Item Q-2 mencatat skor tertinggi sebesar 86%, mengonfirmasi bahwa program dinilai efektif dalam meningkatkan keterampilan teknis peserta. Item Q-5 mencatat 84% respons positif, menunjukkan keyakinan peserta bahwa program mampu berkontribusi terhadap pengurangan timbulan sampah organik di landfill. Item Q-1 mencatat 82% respons positif, mencerminkan penilaian peserta terhadap dampak sosial program yang dirasakan bermanfaat bagi komunitas TPAS. Dari sisi ekonomi, item Q-4 mencatat 76% respons positif terkait potensi penguatan ekonomi sirkular, sementara item Q-3 mencatat 72% responden yang optimis terhadap keberlanjutan produksi biopellet secara mandiri. Secara keseluruhan, hasil evaluasi ketiga dimensi ini secara bersama-sama menegaskan bahwa program pemberdayaan berbasis biopellet SRF tidak hanya berdampak teknis dalam pengolahan limbah, tetapi juga memperkuat kapasitas sumber daya manusia, menciptakan nilai tambah ekonomi, dan membangun fondasi sosial yang diperlukan untuk menjamin keberlanjutan program, sehingga berprospek kuat sebagai model pengelolaan sampah berkelanjutan yang dapat direplikasi pada TPAS lain.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Program pengabdian kepada masyarakat ini berhasil memberdayakan pekerja dan komunitas sekitar TPAS perkotaan dalam memproduksi biopellet SRF berbasis campuran sampah organik dan limbah kayu. Berdasarkan hasil uji proximate, biopellet yang dihasilkan memenuhi spesifikasi umum co-firing biomassa dengan kadar air 8–12%, nilai kalor 3.300–4.100 kkal/kg, dan kadar abu 7–10%. Temuan ini mengonfirmasi bahwa formulasi campuran serbuk kayu dan sampah organik dengan rasio 1:1:1 menghasilkan kualitas energi tertinggi, yakni 4.117 kkal/kg, yang menunjukkan sinergi optimal antara kedua fraksi biomassa tersebut. Dari aspek pemberdayaan, survei terhadap 25 peserta mencatat respons positif rata-rata 80%, dengan 86% melaporkan peningkatan keterampilan teknis, 84% menilai program berkontribusi terhadap pengurangan timbulan sampah organik, dan 72% menyatakan minat untuk melanjutkan produksi secara berkelanjutan. Secara keseluruhan, program ini membuktikan bahwa pendekatan teknologi tepat guna berbasis ekonomi sirkular mampu mengubah residu sampah yang tidak bernilai menjadi produk energi terbarukan sekaligus memperkuat kapasitas sumber daya manusia di lingkungan TPAS.

Berdasarkan temuan dan capaian program, terdapat beberapa rekomendasi pengembangan untuk kegiatan lanjutan. Pertama, perlu dilakukan peningkatan kapasitas produksi melalui pengadaan mesin pelletizer dengan skala yang lebih besar agar volume biopellet yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan co-firing secara komersial. Kedua, diperlukan pendampingan berkelanjutan dalam aspek manajemen usaha, termasuk pengelolaan biaya produksi, strategi pemasaran, dan pembentukan kelompok usaha yang berbadan hukum, guna memastikan keberlanjutan ekonomi program pasca-pendampingan. Ketiga, perlu dikembangkan kemitraan formal antara kelompok masyarakat TPAS dengan sektor industri energi, khususnya dalam skema offtake agreement untuk menjamin kepastian pasar produk biopellet. Keempat, program serupa direkomendasikan untuk direplikasi pada TPAS lain dengan karakteristik timbulan sampah yang sejenis, dengan terlebih dahulu melakukan analisis komposisi sampah lokal guna menyesuaikan formulasi campuran bahan baku secara optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Pertamina Foundation (PFsains) kategori *Implementation* atas hibah pelaksanaan proyek inovasi pengolahan sampah padat non-daur ulang menjadi bahan bakar Solid Recovered Fuel (SRF) pellet sebagai solusi pengolahan sampah cepat di Kota Balikpapan dalam Kontrak Nomor Kpts-032/11A0000/2025-S1C. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Tim Mahasiswa Institut Teknologi Kalimantan (ITK),

khususnya Program Studi Teknik Kimia, yang telah berperan aktif dalam perancangan sistem, proses pencacahan, pengeringan, hingga peletisasi sampah residu non-daur ulang menjadi produk SRF berkualitas.

DAFTAR RUJUKAN

- Adnyani, I. A. S., Natsir, A., Supryatna, Putra, I. K. P., & Harjian, M. R. (2025). Pemanfaatan Limbah Kayu Dan Jerami Padi Sebagai Bahan Bakar Biomassa Di Desa Batu Mekar Kecamatan Lingsar. *Jurnal Pepadu*, 6(4), 743–752. <https://doi.org/10.29303/pepadu.v6i4.8873>
- Čespiva, J., Kupka, D., Ryšavý, J., Niedzwiecki, L., Chen, W.-H., Jackowski, M., Wang, C.-C., Kuo, J.-K., Trusek, A., Cormos, C.-C., & Ochodek, T. (2025). Life cycle assessment of solid recovered fuel (SRF) for energy sector in declining coal region: Environmental burden of SRF production. *Energy Conversion and Management*, X, 26(4), 100989. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100989>
- Cui, X., Yang, J., & Wang, Z. (2021). A multi-parameter optimization of the bio-pellet manufacturing process: Effect of different parameters and different feedstocks on pellet characteristics. *Biomass and Bioenergy*, 155(12), 106299. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106299>
- Ernawati, L., Ginting, R. R., Lestari, R., Amrullah, A., Farobie, O., Prawisudha, P., Raihan, M., & Apriliawan, P. (2025). Effect of Biomass Waste and CaO Blend Compositions on the Pelletizing Characteristics of Refuse-Derived Fuel (RDF). *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 10(3), 744–755.
- Ernawati, L., Ginting, R. R., Lestari, R., Raihan, M., Sianturi, H. G. P., Kurniawati, D. M., Amrullah, A., Farobie, O., & Prawisudha, P. (2025). Pengolahan Sampah Padat Tpas Manggar Menjadi Produk Biopellet (Refuse-Derived Fuel) Dengan Mesin Pelletizer Berbasis Sistem Penggerak Roller. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 9(3), 2912. <https://doi.org/10.31764/jmm.v9i3.31314>
- Ernawati, L., Ginting, R. R., & Zamzani, M. I. (2023). Edukasi Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif Skala Rumah Tangga. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 7(5), 5087. <https://doi.org/10.31764/jmm.v7i5.17444>
- Ernawati, L., Putri, D. N., Aulia, I. P., Ramadhan, M. I. A., Sembirin, T. R., Mulyono, M. R., Fahrian, I., & Ginting, R. R. (2026). Pelatihan Inovatif Pembuatan Pellet Rdf Berbasis Sampah Padat Tpas Manggar Sebagai Upaya Pengembangan Energi Alternatif Ramah Lingkungan. *Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat (SEPAKAT)*, 4(9), 9–20.
- Ernawati, L., Ginting, R. R., Lestari, R., Amrullah, A., Farobie, O., Prawisudha, P., Raihan, M., & Syanla Aulia, R. (2025). Physical Characteristics and Moisture Content of RDF Pellets Produced from Mixed Coarse-Fine Sawdust with Calcium Oxide Addition. *E3S Web of Conferences*, 655(10), 02004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202565502004>
- Ferronato, N., Giaquinta, C., Conti, F., & Torretta, V. (2024). When solid recovered fuel (SRF) production and consumption maximize environmental benefits? A life cycle assessment. *Waste Management*, 178(4), 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.02.029>
- Fitrianingrum, Y., & Surjasatyo, A. (2023). Techno-economic Analysis of co-firing waste Refused Derived Fuel (RDF) in coal-fired power plant. *International Journal of Engineering Business and Social Science*, 1(05), 372–386. <https://doi.org/10.58451/ijebss.v1i05.65>

- Harfadli, M. M., Ramadan, B. S., Ulimaz, M., Rachman, I., & Matsumoto, T. (2025). Environmental impact and priority assessment of municipal solid waste management scenarios in Balikpapan City, Indonesia. *Cleaner Waste Systems*, *10*(3), 100223. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100223>
- International Organization for Standardization. (2011). *ISO 21640: Solid Recovered Fuels – Specifications and Classes*.
- Kuncara, J., JAMILATUN, S., FEBRIANI, A. V., IDRIS, M., & SETYAWAN, M. (2024). Potensi dan tantangan pemanfaatan refuse derived fuel dalam co-firing PLTU di Indonesia: A review. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Dan Teknologi*, 208–220.
- Lee, T.-G., Kim, C.-H., Park, H.-H., Park, J.-H., Park, M.-S., & Lee, J.-S. (2024). Quality Enhancement of Torrefied Biopellets Prepared by Unused Forest Biomass and Wood Chip Residues in Pulp Mills. *Applied Sciences*, *14*(20), 9398. <https://doi.org/10.3390/app14209398>
- Maulana, L. F., Imami Ghozali, H., Fikri, Moh. H., Agustina, E. I., & Ali, M. (2020). Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Didesa Ranjok Kecamatan Gunung Sari Kabupaten Lombok Barat Menjadi Biomass Pellet Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal PEPADU*, *1*(1), 133–138. <https://doi.org/10.29303/jurnalpepadu.v1i1.87>
- Mulya, W., Sari, I. P., Purwanti, S., & Simanungkalit, R. M. (2023). Zona Penyangga Hijau Studi Kasus Pada Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Di Manggar Kota Balikpapan. *IDENTIFIKASI*, *8*(2), 674–681. <https://doi.org/10.36277/identifikasi.v8i2.248>
- Rahotharn, U., Khemkhao, M., & Kaewpengkrow, P. R. (2023). Solid waste management by RDF production from landfilled waste to renewable fuel of Nonthaburi. *International Journal of Renewable Energy Development*, *12*(5), 968–976. <https://doi.org/10.14710/ijred.2023.52956>
- Sidabutar, R., Fath, M. T. Al, Dalimunthe, N. F., Hasibuan, G. C. R., Michael, M., Ramadhan, A. Z., Sari, I. M., Rambe, J. F., Vazelim, V., & Matondang, V. R. (2025). Teknologi Konversi Limbah Kayu Sebagai Bahan Bakar Wood PELLET pada Prototipe Tungku Fuel Wood Bagi Masyarakat Desa Tadukan Raga, Deli Serdang. *Sewagati*, *9*(1), 2711–2719. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v9i1.2448>
- Sieradzka, M., Mlonka-Mędrala, A., & Magdziarz, A. (2025). RDF gasification as a municipal solid waste management according to circular economy concept – Experimental studies. *Fuel*, *385*(4), 134093. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.134093>
- Ting, Z. J., Meng, X., Yang, Z., Jiskani, S. A., Hu, L., Dong, W., & Zhao, M. (2025). Solid Recovered Fuel (SRF): A Comprehensive Review of Its Origins, Production, and Industrial Utilization. *Energy & Fuels*, (5). <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5c01674>
- Yunianti, A. D., Pangestu, K. T. P., Syahidah, Bastian, F., Pari, G., & Darmawan, S. (2024). Dataset of biopellet characteristics from various lignocellulosic agricultural waste and shrubs produced using different method. *Data in Brief*, *57*(12), 110879. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110879>
- Zhang, Z., Yan, S., Huang, M., Liu, Y., & Zhang, Y. (2026). Numerical investigation of co-firing of RDF and pulverized coal in precalciner: Impacts on combustion characteristics and pollutant emissions. *Fuel*, *417*(8), 138647. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2026.138647>