



Hilirisasi Teknologi Pirolisis Tabung Bertingkat (PITARA) Ver. 2 melalui *Living Laboratory* untuk Pengelolaan Sampah Plastik di TPS3R Pulau Derawan

Downstreaming of the Multi-Stage Tube Pyrolysis (PITARA) Technology Ver. 2 via a Living Laboratory for Plastic Waste Management at the Derawan Island TPS3R Facility

Arif Surono¹, Wahyu Wijaya Widiyanto^{2*}, Tri Martini Patria³, Turnad Lenggo Ginta⁴,
Aris Mukimin⁵

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Indonusa Surakarta, Indonesia

²Program Studi Sarjana Terapan Manajemen Informasi Kesehatan, Politeknik Indonusa Surakarta, Indonesia

³Pusat Riset Sistem Industri dan Manufaktur Berkelanjutan, Organisasi Riset Energi dan Manufaktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia

⁴Pusat Riset Teknologi Industri Proses dan Manufaktur, Organisasi Riset Energi dan Manufaktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia

⁵Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia

*Penulis Korespondensi: wahyuwijaya@poltekindonusa.ac.id

Riwayat Artikel:

Naskah Masuk: 19 Juni 2026;

Revisi: 13 Juli 2026;

Diterima: 31 Juli 2026;

Terbit: 19 Agustus 2026.

Keywords: Island Community; Living Laboratory; Plastic Waste; Pyrolysis; Technology Transfer.

Abstract. Plastic waste management is a persistent challenge in small-island tourism destinations, where residual plastics have limited recycling value and transport options. This community service program implemented PITARA (Pirolisis Tabung Bertingkat) Version 2 at TPS3R Pulau Derawan through a Living Laboratory approach on 20-24 July 2026. Activities comprised stakeholder coordination, site and feedstock preparation, technology deployment, Training of Trainers (ToT), assisted operation, and initial evaluation. Ten TPS3R operators received training and technical assistance, while residents participated in feedstock collection and technology operation. Two BRIN laboratory reports generated before the Derawan deployment were used only as supporting Baseline characterization. For three plastic-derived samples, cetane index ranged from 43.66-72.17, density 773.9-793.8 kg/m³, viscosity 1.048-2.157 mm²/s, sulfur 22.6-57.7 ppm, flash point 20.05-37.5 degC, water 121.08-144.81 ppm, and acid number 0.20-0.89 mg KOH/g. The program demonstrates a socio-technical pathway for transferring plastic-waste conversion technology to an island community. Wider replication requires traceable batch logs, competency assessment, safety controls, product upgrading, and field-based performance validation.

Abstrak

Pengelolaan sampah plastik menjadi tantangan penting bagi destinasi wisata pulau kecil karena fraksi residu tidak seluruhnya memiliki nilai daur ulang dan sulit diangkut. Program pengabdian kepada masyarakat ini mengimplementasikan PITARA (Pirolisis Tabung Bertingkat) Ver. 2 di TPS3R Pulau Derawan melalui pendekatan *Living Laboratory* pada 20-24 Juli 2026. Kegiatan mencakup koordinasi multipihak, persiapan lokasi dan bahan baku, implementasi teknologi, *Training of Trainers* (ToT), operasi bersama, dan evaluasi awal. Sebanyak 10 operator memperoleh pelatihan dan pendampingan teknis, sedangkan warga dilibatkan dalam pengumpulan bahan baku dan pengoperasian teknologi. Dua laporan laboratorium BRIN yang terbit sebelum implementasi Derawan digunakan sebagai karakterisasi dasar, bukan sebagai hasil *batch* lapangan. Pada tiga sampel berbasis plastik, indeks setana berkisar 43,66-72,17; densitas 773,9-793,8 kg/m³; viskositas 1,048-2,157 mm²/s; sulfur 22,6-57,7 ppm; titik nyala 20,05-37,5 °C; kadar air 121,08-144,81 ppm; dan angka asam 0,20-0,89 mg KOH/g. Kegiatan menunjukkan model transfer teknologi yang mengintegrasikan inovasi teknis, partisipasi masyarakat, dan kolaborasi lintas sektor. Replikasi memerlukan *logsheet batch*, evaluasi kompetensi, penguatan K3, dan validasi kinerja lapangan.

Kata Kunci: Hilirisasi Teknologi; *Living Laboratory*; Masyarakat Kepulauan; Pirolisis; Sampah Plastik.

1. PENDAHULUAN

Pulau kecil yang berkembang sebagai destinasi wisata menghadapi persoalan sampah yang berbeda dengan wilayah daratan. Keterbatasan lahan, biaya pengangkutan keluar pulau, fluktuasi kunjungan wisata, dan kedekatan dengan ekosistem pesisir menyebabkan kebocoran sampah menjadi risiko lingkungan sekaligus risiko bagi keberlanjutan ekonomi lokal. Di Pulau Derawan, fasilitas RUPIAH/TPS3R dirancang untuk melayani sekitar 1.703 penduduk, sementara timbulan sampah desa diperkirakan mencapai 572,95 kg per hari dan berpotensi meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas pariwisata (Cormann, 2022). Pada tingkat kabupaten, timbulan sampah Berau tahun 2024 dilaporkan mencapai 54.568,41 ton; sekitar 32,33% di antaranya belum tertangani. Data tersebut menunjukkan bahwa penguatan pengelolaan sampah di kawasan kepulauan memerlukan intervensi yang tidak hanya berorientasi pada infrastruktur, tetapi juga pada kapasitas pengelola dan partisipasi masyarakat.

Prinsip ekonomi sirkular menempatkan pencegahan, penggunaan ulang, dan daur ulang material sebagai prioritas, sedangkan teknologi konversi termal lebih tepat diarahkan pada fraksi residu yang bernilai rendah dan sulit dipulihkan secara material (Majzoub et al., 2024). Dalam konteks tersebut, pirolisis menjadi salah satu opsi untuk mengonversi polimer pada kondisi tanpa atau sangat terbatas oksigen menjadi fraksi cair, gas, dan padatan. Kinerja proses sangat dipengaruhi oleh jenis dan komposisi plastik, kondisi termal, konfigurasi reaktor, serta penggunaan katalis (Kulas et al., 2023; Li et al., 2021). Karena karakter produk dapat bervariasi, keberhasilan implementasi tidak cukup dinilai dari terbentuknya minyak, tetapi juga perlu mempertimbangkan mutu produk, keselamatan, kestabilan operasi, dan kecocokan pemanfaatan akhir (Hasan et al., 2025; Lubongo et al., 2022).

PITARA (Pirolisis Tabung Bertingkat) Ver. 2 merupakan teknologi pirolisis yang diimplementasikan di TPS3R Pulau Derawan, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, pada 20-24 Juli 2026. Implementasi tersebut merupakan kolaborasi BRIN, PT *Asian Bulk Logistics (ABL) Group*, Pemerintah Kabupaten Berau, dan pengelola TPS3R Pulau Derawan. Teknologi diarahkan untuk menangani plastik bernilai rendah atau sulit didaur ulang, sedangkan proses adopsinya menggunakan model *Living Laboratory* dengan melibatkan masyarakat dari pengumpulan bahan baku hingga pengoperasian instalasi. Sebanyak 10 operator TPS3R mengikuti *Training of Trainers* (ToT) dan pendampingan teknis sebagai bagian dari upaya membangun kemampuan operasional lokal.

Pendekatan *Living Laboratory* relevan untuk hilirisasi teknologi berbasis masyarakat karena menempatkan pengguna, pemerintah, peneliti, dan mitra usaha sebagai aktor yang belajar dan melakukan penyesuaian dalam konteks nyata. Studi *Living Lab* di Indonesia

menunjukkan bahwa ko-kreasi, keterlibatan publik, dan pembelajaran lintas aktor dapat memperkuat proses penerapan solusi lingkungan yang kompleks (Hadfield et al., 2024). Dengan demikian, nilai pengabdian PITARA bukan hanya terletak pada pemindahan perangkat teknologi ke lokasi, tetapi pada proses membangun ekosistem penggunaan yang dapat dipahami, dioperasikan, dan dievaluasi oleh aktor lokal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, kegiatan ini bertujuan untuk mengimplementasikan PITARA Ver. 2 pada konteks operasional TPS3R Pulau Derawan, melakukan transfer pengetahuan dan pendampingan teknis kepada operator, melibatkan masyarakat melalui model *Living Laboratory*, serta menyusun evaluasi awal yang mengintegrasikan bukti proses implementasi dengan karakterisasi teknis produk yang telah tersedia.

2. METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan di TPS3R Pulau Derawan, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, pada 20-24 Juli 2026. Subjek dampingan utama adalah 10 operator TPS3R, dengan keterlibatan masyarakat setempat pada rantai pengumpulan bahan baku dan proses implementasi. Mitra kegiatan meliputi BRIN, PT *Asian Bulk Logistics (ABL) Group*, Pemerintah Kabupaten Berau, serta pengelola TPS3R Pulau Derawan. Pendekatan yang digunakan adalah *Living Laboratory*, yaitu penerapan teknologi pada lingkungan penggunaan nyata dengan melibatkan pemangku kepentingan dalam proses pembelajaran, adaptasi, dan evaluasi.

Pelaksanaan disusun dalam enam tahap. Tahap pertama berupa koordinasi multipihak untuk menyelaraskan lokasi, peran, dan dukungan implementasi. Tahap kedua mencakup persiapan lokasi dan bahan baku plastik bernilai rendah atau sulit didaur ulang. Tahap ketiga adalah implementasi unit PITARA Ver. 2 pada lingkungan TPS3R. Tahap keempat berupa ToT dan pendampingan teknis kepada 10 operator. Tahap kelima adalah operasi bersama dan dokumentasi untuk memperkenalkan alur kerja teknologi dalam konteks nyata. Tahap keenam berupa evaluasi awal untuk mengidentifikasi capaian langsung, kebutuhan penguatan operasional, dan prasyarat replikasi. Rangkaian tersebut ditampilkan pada Gambar 1.

Evaluasi kegiatan menggunakan indikator proses dan keluaran yang dapat diverifikasi, meliputi terlaksananya implementasi unit di TPS3R, jumlah operator yang memperoleh ToT dan pendampingan, keterlibatan masyarakat dalam proses *Living Laboratory*, dokumentasi pengoperasian, serta tersedianya bukti karakterisasi teknis minyak pirolisis. Karena lembar *pre-test/post-test*, *checklist* kompetensi, dan *logsheet* operasi per *batch* belum tersedia dalam dokumen kegiatan, artikel ini tidak menghitung peningkatan kompetensi maupun rendemen

lapangan secara kuantitatif. Pendekatan ini dipilih untuk menghindari klaim yang melampaui bukti empiris.

Karakterisasi teknis menggunakan dua laporan pengujian BRIN, yaitu Laporan No. 287479/LE-BBESL/7/2026 dan No. 287482/LE-BBESL/7/2026. Kedua laporan mencakup enam sampel minyak pirolisis, sedangkan analisis pada artikel ini dibatasi pada tiga sampel berbasis plastik: A (Pirolisis Plastik Kran 1 dan 2 + Katalis), B (Pirolisis Plastik Kran 3 dan 4 + Katalis), dan C (Pirolisis Plastik Non Katalis). Sampel diterima laboratorium pada 25 Mei 2026 dan dianalisis pada 15 Juni-2 Juli 2026.

Parameter yang dianalisis meliputi densitas (ASTM D4052), viskositas kinematik (ASTM D445), kadar air (ASTM D6304), angka asam (ASTM D664), indeks setana (ASTM D4737), kadar sulfur (ASTM D4294), titik nyala (ASTM D6450), titik kabut (ASTM D2500), titik tuang (ASTM D97), residu karbon (ASTM D189), dan korosi bilah tembaga (ASTM D130). Data dianalisis secara deskriptif melalui triangulasi dokumentasi kegiatan, sumber kelembagaan, dan laporan laboratorium. Interpretasi difokuskan pada pola karakteristik dan kebutuhan tindak lanjut, bukan pada klaim kesetaraan dengan grade bahan bakar komersial tertentu.



Gambar 1. Tahapan implementasi PITARA Ver. 2 melalui pendekatan *Living Laboratory*.

Tabel 1. Keterkaitan kebutuhan mitra, intervensi, dan capaian langsung.

Kebutuhan/isu	Intervensi PkM	Capaian langsung	Bukti/indikator
Penanganan plastik bernilai rendah/sulit didaur ulang	Implementasi PITARA Ver. 2 di TPS3R	Unit teknologi dihadirkan dan didemonstrasikan pada konteks penggunaan nyata	Dokumentasi lapangan dan publikasi kelembagaan
Kesiapan operator lokal	ToT dan pendampingan teknis	10 operator mengikuti proses transfer pengetahuan dan keterampilan	Jumlah peserta ToT terdokumentasi
Keterlibatan masyarakat	<i>Living Laboratory</i>	Warga dilibatkan dari pengumpulan bahan baku sampai pengoperasian instalasi	Dokumentasi dan sumber kelembagaan
Jaminan mutu awal produk	Karakterisasi laboratorium pra-implementasi	Tersedia 11 parameter sifat bahan bakar pada tiga sampel plastik	Laporan BRIN No. 287479 dan 287482
Keberlanjutan dan replikasi	Kolaborasi lintas sektor dan evaluasi awal	Terbentuk basis pembelajaran untuk penguatan operasi dan replikasi	Kolaborasi BRIN-ABL-Pemkab-TPS3R

Sumber: dokumentasi kegiatan pengabdian, 2026.

3. HASIL

Implementasi PITARA pada konteks TPS3R Pulau Derawan

Implementasi PITARA Ver. 2 berlangsung pada 20-24 Juli 2026 di TPS3R Pulau Derawan. Kegiatan menempatkan unit pirolisis pada konteks pengelolaan sampah yang telah berkembang di pulau tersebut, bukan pada ruang demonstrasi yang terpisah dari sistem lokal. Posisi ini penting karena TPS3R Pulau Derawan merupakan bagian dari penguatan pengelolaan sampah berbasis 3R di kawasan wisata bahari, sehingga teknologi baru harus berinteraksi dengan alur pemilahan, operator, tata kelola lokasi, dan karakter bahan baku yang tersedia.

Dokumentasi lapangan memperlihatkan dua momen utama. Gambar 2 menunjukkan peresmian penggunaan teknologi PITARA Ver. 2 di TPS3R pada 23 Juli 2026, sedangkan Gambar 3 memperlihatkan unit PITARA berada di lokasi kegiatan hilirisasi dan pendampingan implementasi. Keberadaan unit, pemangku kepentingan, dan fasilitas TPS3R dalam dokumentasi yang sama memperkuat bahwa program telah mencapai tahap penerapan lapangan, bukan sekadar sosialisasi konseptual.



Gambar 2. Peresmian penggunaan PITARA Ver. 2 di TPS3R Pulau Derawan, 23 Juli 2026 (Dokumentasi tim).



Gambar 3. Unit PITARA Ver. 2 pada kegiatan hilirisasi dan pendampingan implementasi di Pulau Derawan, 20-24 Juli 2026 (Dokumentasi tim).

Transfer pengetahuan dan partisipasi melalui *Living Laboratory*

Komponen pembeda kegiatan ini adalah penggunaan model *Living Laboratory*. Berdasarkan dokumentasi kelembagaan, warga dilibatkan mulai dari pengumpulan bahan baku hingga pengoperasian instalasi, sedangkan 10 operator TPS3R memperoleh ToT dan pendampingan teknis (BRIN, 2026a; TVRI News, 2026). Dengan pola tersebut, teknologi tidak diposisikan sebagai perangkat yang sepenuhnya dikendalikan tim eksternal, tetapi sebagai objek pembelajaran yang diperkenalkan kepada pengguna lokal di tempat teknologi akan dioperasikan.

Capaian yang dapat dinyatakan secara empiris pada tahap ini adalah terselenggaranya transfer pengetahuan kepada 10 operator dan adanya keterlibatan warga dalam rangkaian implementasi. Namun, tidak tersedia instrumen *pre-test/post-test* atau *checklist* keterampilan bertanda tangan yang memungkinkan perhitungan perubahan kompetensi. Oleh karena itu, artikel ini tidak menggunakan istilah “peningkatan kompetensi sebesar ...” dan tidak menyatakan seluruh operator telah mandiri secara kuantitatif. Keterbatasan ini sekaligus menjadi agenda evaluasi lanjutan agar keberhasilan pemberdayaan dapat diukur pada tingkat *outcome*, bukan hanya kehadiran peserta.

Karakterisasi teknis sebagai *Baseline* pendukung

Dua laporan laboratorium BRIN menyediakan bukti teknis yang melengkapi narasi implementasi. Namun, data tersebut harus ditempatkan secara tepat. Sampel diterima laboratorium pada 25 Mei 2026 dan dianalisis pada 15 Juni-2 Juli 2026, sedangkan implementasi Derawan berlangsung 20-24 Juli 2026. Dengan demikian, hasil pada Tabel 2 bukan hasil *batch* yang diproduksi selama kegiatan di Derawan, melainkan karakterisasi dasar terhadap produk pirolisis PITARA yang tersedia sebelum implementasi lapangan.

Tabel 2. Karakterisasi laboratorium tiga sampel minyak pirolisis berbasis plastic.

Parameter	Satuan	A: Kran 1-2 + katalis	B: Kran 3-4 + katalis	C: Non- katalis	Metode
Indeks setana	-	65,13	43,66	72,17	ASTM D4737
Densitas @15°C	kg/m3	793,8	773,9	789,4	ASTM D4052
Viskositas @40°C	mm2/s	2,157	1,048	1,861	ASTM D445
Kadar air	ppm	128,93	144,81	121,08	ASTM D6304
Angka asam	mg KOH/g	0,67	0,89	0,20	ASTM D664
Kadar sulfur	ppm	38,2	57,7	22,6	ASTM D4294
Titik nyala	°C	37,5	25,05	20,05	ASTM D6450
Titik kabut	°C	-7,1	-14,45	13,55	ASTM D2500
Titik tuang	°C	-4,9	-29,29	-4,0	ASTM D97
Residu karbon	% massa	0,16	0,11	0,16	ASTM D189
Korosi bilah tembaga	kelas	1a	1a	1a	ASTM D130

Sumber: Data Sekunder PKM, 2026.

Data menunjukkan heterogenitas sifat produk di antara tiga konfigurasi sampel. Indeks setana berada pada 43,66-72,17, densitas 773,9-793,8 kg/m³, dan viskositas kinematik 1,048-2,157 mm²/s. Angka asam bervariasi dari 0,20 hingga 0,89 mg KOH/g. Variasi tersebut mengindikasikan bahwa konfigurasi proses dan/atau karakter umpan perlu dikendalikan apabila mutu produk akan distandardisasi. Literatur juga menunjukkan bahwa komposisi bahan baku, temperatur, residence time, serta katalis dapat menggeser distribusi dan sifat fraksi cair secara bermakna (Li et al., 2021; Ghodke et al., 2023; Faisal et al., 2024).

Pada aspek penanganan, titik nyala tiga sampel berada pada 20,05-37,5 °C. Nilai ini menuntut pengendalian sumber penyalan, wadah penyimpanan yang sesuai, ventilasi, dan SOP penanganan produk cair. Kadar sulfur tercatat 22,6-57,7 ppm, kadar air 121,08-144,81 ppm, dan seluruh sampel menunjukkan korosi bilah tembaga kelas 1a. Temuan tersebut berguna sebagai baseline, tetapi belum memadai untuk menyatakan produk setara dengan minyak tanah atau solar komersial. Klaim kesetaraan harus didasarkan pada spesifikasi end-use yang jelas, sampel yang berasal dari *batch* lapangan, serta rangkaian pengujian mutu dan keselamatan yang relevan.

Capaian langsung dan kebutuhan tindak lanjut

Secara keseluruhan, program menghasilkan empat keluaran langsung yang dapat diverifikasi: implementasi unit PITARA Ver. 2 di TPS3R Pulau Derawan, pelaksanaan ToT dan pendampingan kepada 10 operator, keterlibatan warga melalui *Living Laboratory*, dan tersedianya *Baseline* karakterisasi laboratorium. Keempat keluaran tersebut menunjukkan bahwa hilirisasi telah bergerak dari tahap prototipe menuju penggunaan pada lingkungan nyata.

Pada saat yang sama, evaluasi awal menunjukkan adanya kesenjangan data yang penting untuk tahap replikasi. Belum tersedia logsheet *batch* yang menghubungkan massa dan komposisi umpan, suhu proses, durasi operasi, konsumsi energi, *volume* atau massa produk, *downtime*, dan kejadian K3. Belum tersedia pula pengukuran kompetensi operator sebelum dan sesudah pelatihan. Karena itu, tahap berikutnya perlu mengubah kegiatan operasi rutin menjadi sistem pembelajaran berbasis data sehingga efektivitas teknologi dan keberlanjutan pemberdayaan dapat ditelusuri dari waktu ke waktu.

4. DISKUSI

Implementasi PITARA di Pulau Derawan menunjukkan bahwa hilirisasi teknologi lingkungan pada masyarakat kepulauan membutuhkan pendekatan sosio-teknis. Penempatan unit di TPS3R memberi peluang untuk menguji kecocokan teknologi terhadap alur pengelolaan sampah lokal, sementara *Living Laboratory* membuka ruang bagi warga dan operator untuk

berinteraksi langsung dengan proses inovasi. Pola ini sejalan dengan temuan Petrík et al., (2025) dan Park et al., (2024) bahwa *Living Lab* efektif ketika pembelajaran teknis berjalan bersama ko-kreasi, partisipasi, dan pembagian peran antarpemangku kepentingan. Dalam konteks PkM, indikator keberhasilan karena itu tidak cukup berupa “alat tersedia”, tetapi harus mencakup kemampuan lokal menjaga operasi, keselamatan, pencatatan, dan pengambilan keputusan setelah tim pendamping meninggalkan lokasi.

Konteks Derawan memperkuat relevansi pendekatan tersebut. Timbulan sampah desa sekitar 572,95 kg/hari dan peran Pulau Derawan sebagai kawasan wisata bahari menunjukkan bahwa kebocoran sampah memiliki konsekuensi ekologis dan ekonomi yang langsung (Pacheco-lópez et al., 2021). Namun, pirolisis tidak boleh diposisikan sebagai pengganti seluruh strategi 3R. Literatur ekonomi sirkular menekankan perlunya menjaga prioritas pengurangan, penggunaan ulang, dan daur ulang material, sedangkan konversi termal diarahkan terutama pada residu yang tidak layak dipulihkan secara material (Maithomklang et al., 2022; Medaiyese et al., 2024). Dengan kerangka ini, PITARA lebih tepat dibaca sebagai pelengkap sistem TPS3R untuk fraksi plastik *low-value*, bukan sebagai alasan untuk mengendurkan pemilahan atau pencegahan sampah.

Baseline laboratorium memperlihatkan alasan mengapa kontrol mutu perlu menjadi bagian dari pemberdayaan operator. Perbedaan indeks setana, densitas, viskositas, angka asam, titik nyala, dan residu karbon antarsampel menunjukkan bahwa minyak pirolisis bukan produk yang otomatis seragam. Studi terdahulu juga menemukan bahwa sifat umpan, konfigurasi proses, katalis, dan kondisi operasi sangat menentukan kualitas fraksi cair (Kulas et al., 2022; Kusmiyati & Fudholi, 2025). Karena itu, tahap replikasi seharusnya tidak hanya mengejar volume minyak, tetapi membangun disiplin feedstock acceptance, identifikasi *batch*, kontrol temperatur, pencatatan kondisi proses, serta sampling produk yang tertelusur.

Aspek keselamatan perlu mendapat perhatian khusus. Rentang titik nyala 20,05-37,5 °C pada sampel *Baseline* mengindikasikan bahwa produk mudah terpapar risiko penyalan pada kondisi tertentu. Konsekuensinya, pemanfaatan produk harus ditetapkan berdasarkan end-use yang spesifik, kemudian diikuti penilaian kompatibilitas burner atau mesin, sistem penyimpanan, kontrol sumber api, serta prosedur tanggap darurat. Kajian konversi plastik menjadi bahan bakar menegaskan bahwa karakterisasi produk dan evaluasi pemanfaatan akhir merupakan prasyarat penting sebelum substitusi bahan bakar dilakukan secara luas (Chaudhary et al., 2023; Genuino et al., 2022).

Dari sisi pemberdayaan, pelatihan terhadap 10 operator merupakan *output* yang relevan, tetapi belum dapat digunakan sebagai bukti perubahan kompetensi tanpa instrumen evaluasi.

Pada kegiatan lanjutan, ToT perlu dilengkapi *pre-test/post-test*, *checklist* keterampilan kritis, observasi satu siklus operasi mandiri, dan catatan remediasi. Pengukuran tersebut akan menggeser evaluasi dari sekadar jumlah peserta menuju tingkat kemampuan yang dapat dipertanggungjawabkan. Pendekatan serupa juga memperkuat keberlanjutan karena kebutuhan pelatihan ulang dapat diketahui berdasarkan data, bukan persepsi.

Replikasi PITARA di pulau lain memerlukan setidaknya lima prasyarat. Pertama, ketersediaan dan pemilahan fraksi plastik yang sesuai harus dipetakan agar teknologi tidak mengganggu alur daur ulang material. Kedua, operasi harus menggunakan logsheet per *batch* yang menghubungkan input, kondisi proses, output, energi, downtime, dan kejadian K3. Ketiga, mutu produk perlu diuji secara periodik dengan kode sampel yang dapat ditelusuri ke *batch* asal. Keempat, kompetensi operator dan tata kelola kelembagaan harus dipastikan, termasuk tanggung jawab pemeliharaan dan pembiayaan. Kelima, kelayakan ekonomi harus dihitung dari harga dan biaya lokal, bukan dari asumsi umum. Literatur *techno-economic* menunjukkan bahwa utilisasi, biaya energi, skala, dan nilai produk sangat memengaruhi keekonomian pirolisis plastik (Ghodke et al., 2023).

Keterbatasan utama kegiatan ini adalah belum tersedianya data operasional *batch* dan instrumen pengukuran perubahan kompetensi operator. Selain itu, data laboratorium berasal dari periode sebelum implementasi Derawan dan tanggal pengambilan sampelnya tidak dicantumkan dalam laporan. Oleh sebab itu, data laboratorium digunakan sebagai *Baseline* pendukung, bukan sebagai bukti kinerja unit selama kegiatan PkM. Keterbatasan tersebut tidak mengurangi nilai implementasi, tetapi menentukan batas klaim yang layak dibuat dan sekaligus memberi arah yang jelas untuk evaluasi tahap berikutnya.

5. KESIMPULAN

Hilirisasi PITARA Ver. 2 di TPS3R Pulau Derawan pada 20-24 Juli 2026 telah menghasilkan implementasi teknologi pada lingkungan penggunaan nyata, ToT dan pendampingan kepada 10 operator, serta pelibatan warga melalui pendekatan *Living Laboratory*. Bukti laboratorium yang tersedia memperlihatkan karakter minyak pirolisis yang bervariasi dan bermanfaat sebagai *Baseline* teknis, tetapi karena pengujian dilakukan sebelum kegiatan Derawan, data tersebut tidak dapat diposisikan sebagai hasil *batch* lapangan. Kontribusi utama kegiatan ini adalah terbentuknya model awal transfer teknologi yang menghubungkan teknologi pirolisis, sistem TPS3R, partisipasi masyarakat, dan kolaborasi lintas sektor. Untuk mendukung keberlanjutan dan replikasi, tahap lanjutan perlu memprioritaskan logsheet operasi per *batch*, evaluasi kompetensi operator, SOP K3,

penelusuran sampel, pengujian mutu berbasis end-use, dan analisis kelayakan berbasis biaya lokal.

PENGAKUAN/ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis menyampaikan penghargaan kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), PT *Asian Bulk Logistics* (ABL) Group, Pemerintah Kabupaten Berau, pengelola TPS3R Pulau Derawan, masyarakat setempat, dan seluruh tim yang terlibat dalam implementasi PITARA Ver. 2. Penelitian/kegiatan ini didukung oleh fasilitas riset serta dukungan ilmiah dan teknis dari Laboratorium Energi - Sub Laboratorium Bahan Bakar, Energi Sintetik dan *Low-carbon*, Badan Riset dan Inovasi Nasional, melalui E-Layanan Sains, Badan Riset dan Inovasi Nasional.

DAFTAR REFERENSI

- Chaudhary, A., Lakhani, J., Dalsaniya, P., Chaudhary, P., Trada, A., Shah, N. K., & Upadhyay, D. S. (2023). Slow pyrolysis of low-density Poly-Ethylene (LDPE): A batch experiment and thermodynamic analysis. *Energy*, 263, 125810. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125810>
- Cormann, M. (2022). *Global Plastics Outlook*.
- Genuino, H. C., Ruiz, M. P., Heeres, H. J., & Kersten, S. R. A. (2022). Pyrolysis of mixed plastic waste (DKR-350): Effect of washing pre-treatment and fate of chlorine. *Fuel Processing Technology*, 233, 107304. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107304>
- Ghodke, P. K., Sharma, A. K., Moorthy, K., Chen, W., Patel, A., & Matsakas, L. (2023). *Experimental Investigation on Pyrolysis of Domestic Plastic Wastes for Fuel Grade Hydrocarbons*.
- Hadfield, P., Prescott, M., Holden, J., Novalia, W., Suwarso, R., Marthanty, D. R., Priadi, C., Kirana, K. H., Endyana, C., Hardesty, B. D., Taufik, F. D., Zurbrügg, C., Josey, B., Astuti, N., Wong, T., Ramirez-Lovering, D., & Raven, R. (2024). Citarum Living Lab: Co-creating visions for sustainable river revitalisation. *PLOS Water*, 3(8), e0000200. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000200>
- Hasan, M. M., Haque, R., Jahirul, M. I., & Rasul, M. G. (2025). Pyrolysis of plastic waste for sustainable energy Recovery: Technological advancements and environmental impacts. *Energy Conversion and Management*, 326(January), 119511. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119511>
- Kulas, D. G., Zolghadr, A., Chaudhari, U. S., & Shonnard, D. R. (2023). Economic and environmental analysis of plastics pyrolysis after secondary sortation of mixed plastic waste. *Journal of Cleaner Production*, 384, 135542. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135542>
- Kulas, D. G., Zolghadr, A., & Shonnard, D. R. (2022). Liquid-fed waste plastic pyrolysis pilot plant: Effect of reactor volume on product yields. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 166, 105601. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105601>

- Kusmiyati, K., & Fudholi, A. (2025). A systematic literature review on the pyrolysis of plastic waste and waste oil for fuel production: Targeted waste management solution for central Java, Indonesia. *Cleaner Waste Systems*, 11, 100308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100308>
- Li, D., Lei, S., Wang, P., Zhong, L., Ma, W., & Chen, G. (2021). Study on the pyrolysis behaviors of mixed waste plastics. *Renewable Energy*, 173, 662–674. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.035>
- Lubongo, C., Congdon, T., McWhinnie, J., & Alexandridis, P. (2022). Economic feasibility of plastic waste conversion to fuel using pyrolysis. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 27, 100683. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100683>
- Maithomklang, S., Wathakit, K., Sukjit, E., Sawatmongkhon, B., & Srisertpol, J. (2022). Utilizing Waste Plastic Bottle-Based Pyrolysis Oil as an Alternative Fuel. *ACS Omega*, 7(24), 20542–20555. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c07345>
- Majzoub, W. N., Al-Rawashdeh, M., & Al-Mohannadi, D. M. (2024). Toward Building Circularity in Sustainable Plastic Waste Conversion. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 12(23), 8642–8661. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c00383>
- Medaiyese, F. J., Nasriani, H. R., Khajenoori, L., Khan, K., & Badiei, A. (2024). *From Waste to Energy : Enhancing Fuel and Hydrogen Production through Pyrolysis and In-Line Reforming of Plastic Wastes*.
- Pacheco-lópez, A., Lechtenberg, F., Somoza-tornos, A., & Graells, M. (2021). *Economic and Environmental Assessment of Plastic Waste Pyrolysis Products and Biofuels as Substitutes for Fossil-Based Fuels*. 9(June), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.676233>
- Park, H., Kim, K., Yu, M., Yun, Z., & Lee, S. (2024). Economic analysis of the circular economy based on waste plastic pyrolysis oil: a case of the university campus. *Environment, Development and Sustainability*, 26(3), 6293–6313. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-02963-1>
- Petrík, Juraj, Genuino, Homer C, Kramer, Gert Jan, & Shen, Li. (2025). Pyrolysis of Dutch mixed plastic waste: Lifecycle GHG emissions and carbon recovery efficiency assessment. *Waste Management & Research*, 43(8), 1219–1233. <https://doi.org/10.1177/0734242X241306605>