

Pemberdayaan Pelaku Usaha Penggilingan Padi melalui Pemanfaatan Limbah Sekam menjadi Pelet Biomassa Berbasis Ekonomi Sirkular

Rahmad Wisnu Wardana^{1*}, Dana Marsetiya Utama²

¹²Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Malang, Indonesia

*Correspondent email: rahmadwisnu78@umm.ac.id

Received: 9 Juni 2026 **Revised:** 11 Juli 2026 **Accepted:** 4 Agustus 2026 **Published:** 13 Agustus 2026

©2026 by the authors. Licensee Community Service: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons
Attribution (CC BY NC) license <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

Abstract. The utilization of rice husks in the rice milling sector remains limited, thereby reducing the material's economic value and hindering the implementation of a circular economy. This study aims to evaluate the effectiveness of an empowerment program for rice milling business operators through the conversion of rice husks into biomass pellets based on a circular economy approach. The study employed a single-group intervention design with pre- and post-activity measurements involving six participants—one manager and five workers—from the rice milling industry in Malang Regency. The intervention included education on the circular economy, training in pellet production, workplace safety, technology implementation, production management, and mentoring. The program's effectiveness was evaluated based on five variables—knowledge of the circular economy, pellet production skills, workplace safety, production management, and readiness for sustainability—using a five-point Likert scale. Differences in scores before and after the intervention were analyzed using the Wilcoxon signed-rank test. Based on the evaluation, the composite score increased from 2.18 to 4.22 with $p = 0.024$ and an effect size of 0.92. Pellet production skills increased by 112.5%, while knowledge of the circular economy increased by 90.7%. The rice husk utilization rate increased from 30.0% to 52.2%, with pellet production reaching approximately 85 kilograms per day. The results indicate that the empowerment program was able to enhance participants' capacity while strengthening rice husk utilization through the integration of human competencies, technology, process standardization, and production management. The study produced a Framework for the Integration of Empowerment and Circular Production that links resource awareness, technical competencies, process standardization, waste valorization, and sustainability readiness. The framework demonstrates that empowerment can serve as a bridging mechanism between enhancing the capacity of business actors and implementing the circular economy in the rice milling industry.

Key words: circular economy; rice husks; biomass pellets; empowerment; waste valorization; rice milling industry.

Abstrak. Pemanfaatan sekam pada sektor penggilingan padi masih terbatas sehingga mengurangi nilai ekonomi material dan menghambat penerapan ekonomi sirkular. Studi ini bertujuan mengevaluasi efektivitas program

pemberdayaan pelaku usaha penggilingan padi melalui pemanfaatan sekam menjadi pelet biomassa berbasis ekonomi sirkular. Studi menggunakan desain intervensi satu kelompok dengan pengukuran sebelum dan sesudah kegiatan pada enam peserta yang terdiri atas satu pengelola dan lima pekerja industri penggilingan padi di Kabupaten Malang. Intervensi mencakup edukasi ekonomi sirkular, pelatihan produksi, keselamatan kerja, penerapan teknologi, manajemen produksi, dan pendampingan. Efektivitas program dievaluasi berdasarkan lima variabel, yaitu pengetahuan ekonomi sirkular, keterampilan produksi pelet, keselamatan kerja, manajemen produksi, dan kesiapan keberlanjutan, menggunakan skala Likert lima tingkat. Perbedaan skor sebelum dan sesudah intervensi dianalisis menggunakan uji Wilcoxon signed-rank. Berdasarkan evaluasi, skor komposit meningkat dari 2,18 menjadi 4,22 dengan $p = 0,024$ dan ukuran efek 0,92. Keterampilan produksi pelet meningkat sebesar 112,5%, sedangkan pengetahuan ekonomi sirkular meningkat sebesar 90,7%. Tingkat pemanfaatan sekam meningkat dari 30,0% menjadi 52,2%, dengan produksi pelet mencapai sekitar 85 kilogram per hari. Hasil menunjukkan bahwa program pemberdayaan mampu meningkatkan kapasitas peserta sekaligus memperkuat pemanfaatan sekam melalui integrasi kompetensi manusia, teknologi, standarisasi proses, dan manajemen produksi. Studi menghasilkan Kerangka Integrasi Pemberdayaan dan Produksi Sirkular yang menghubungkan kesadaran sumber daya, kompetensi teknis, standarisasi proses, valorisasi limbah, dan kesiapan keberlanjutan. Kerangka tersebut menunjukkan bahwa pemberdayaan dapat menjadi mekanisme penghubung antara peningkatan kapasitas pelaku usaha dan penerapan ekonomi sirkular pada industri penggilingan padi.

Kata Kunci: ekonomi sirkular; sekam padi; pelet biomassa; pemberdayaan; valorisasi limbah; industri penggilingan padi.

1. Pendahuluan

Transformasi sistem produksi menuju ekonomi sirkular menjadi agenda penting dalam pengelolaan limbah pertanian dan pengembangan energi terbarukan (Utama et al., 2025; Yasa et al., 2023). Ekonomi sirkular mempertahankan nilai material melalui pengurangan limbah, penggunaan kembali sumber daya, serta konversi residu menjadi produk bernilai ekonomi. Pendekatan tersebut relevan bagi sektor penggilingan padi karena proses produksi menghasilkan sekam dalam jumlah besar secara kontinu. Syaukat (Syaukat, 2024) menegaskan bahwa limbah pertanian Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal, meskipun berpotensi menghasilkan produk berbasis hayati dan nilai tambah. Penanganan sekam melalui pembakaran terbuka juga menghasilkan permasalahan kesehatan dan kualitas lingkungan. Matin et al. (Matin et al., 2023) menemukan bahwa pembakaran sekam dapat meningkatkan konsentrasi sulfur dioksida dan partikulat melampaui standar kualitas udara. Sebaliknya, pemanfaatan residu pertanian dapat membangun aliran material tertutup sekaligus meningkatkan manfaat ekonomi pada tingkat usaha. Latif et al. (Latif et al., 2023) menunjukkan bahwa manfaat pendapatan menjadi indikator penting penerapan ekonomi sirkular pada tingkat mikro. Pengelolaan limbah berbasis partisipasi juga meningkatkan penerimaan teknologi ketika manfaat ekonomi dan lingkungan dapat

dirasakan langsung oleh masyarakat (Sari, 2022). Sekifuji dan Tateda (Sekifuji & Tateda, 2019) bahkan menunjukkan bahwa sekam dapat ditempatkan sebagai sumber daya energi dalam sistem daur ulang yang layak. Kondisi tersebut sesuai dengan industri sasaran dalam studi ini. Kapasitas penggilingan mencapai 2–3 ton gabah setiap hari dan menghasilkan sekitar 400–500 kg sekam. Sekitar 70% sekam tersebut belum dimanfaatkan secara produktif. Fakta tersebut menunjukkan kebutuhan transformasi dari pengelolaan limbah linier menuju pemanfaatan sekam berbasis ekonomi sirkular.

Konversi sekam menjadi pelet biomassa sekam padi memberikan jalur teknis yang relevan karena densifikasi memperbaiki karakteristik penyimpanan, penanganan, dan pemanfaatan energi biomassa. Ndindeng et al. (Ndindeng et al., 2015) menunjukkan bahwa karakteristik briket dari hasil samping penggilingan dipengaruhi komposisi bahan dan kondisi pemadatan. Bajo dan Acda (Ajo & Acda, 2017) menemukan bahwa peningkatan tekanan densifikasi meningkatkan densitas serta kekuatan tekan pelet berbasis sekam dan partikel kayu. Moliner et al. (Moliner et al., 2020) juga membuktikan kelayakan produksi pelet dari residu panen padi melalui evaluasi karakteristik fisik dan energi. Sementara itu, Niño et al. (Niño et al., 2020) menunjukkan hubungan antara temperatur, komposisi sekam, waktu pemadatan, dan ketahanan mekanis produk densifikasi. Bukti tersebut menegaskan bahwa produksi pelet membutuhkan pengendalian bahan baku dan parameter proses secara konsisten. Kajian ekonomi juga mendukung pemanfaatan sekam sebagai bahan baku energi. Unrean et al. (Unrean et al., 2018) menunjukkan bahwa teknologi konversi sekam mempunyai konsekuensi ekonomi dan lingkungan yang berbeda pada setiap jalur produksi. Pengembangan teknologi harus mempertimbangkan kualitas produk, biaya pengolahan, penggunaan energi, serta peluang pemanfaatan lokal. Pengujian terbaru juga menunjukkan bahwa campuran sekam dapat menghasilkan pelet dengan karakteristik mekanis dan pembakaran yang kompetitif (Dorokhov, 2024). Arroyo Dagobeth et al. (Arroyo Dagobeth, 2025) memperkuat temuan tersebut melalui evaluasi sifat fisikokimia dan pembakaran pelet berbasis sekam. Setioputro et al. (Setioputro et al., 2023) turut menunjukkan potensi sekam dalam sistem konversi energi biomassa di Indonesia. Namun, sebagian besar studi tersebut menitikberatkan karakteristik bahan, proses densifikasi, pembakaran, dan kelayakan teknologi.

Penerapan teknologi pada industri skala kecil tidak hanya ditentukan oleh keberhasilan teknis, tetapi juga kapasitas sumber daya manusia dan sistem pengelolaannya. Sejumlah program pengabdian telah menunjukkan bahwa pelatihan berbasis praktik dapat meningkatkan kemampuan masyarakat mengolah limbah pertanian menjadi bahan bakar padat. Paduloh et al. (Paduloh et al., 2019) menerapkan pelatihan pemanfaatan sekam untuk meningkatkan nilai ekonomi limbah pertanian. Zumrotin et al. (Zumrotin et al., 2023) mengembangkan pelatihan produksi briket sekam sebagai kegiatan ekonomi mikro berbasis sumber daya lokal. Pasae et al. (Pasae et al., 2023) menunjukkan bahwa demonstrasi dan praktik langsung dapat membangun pengetahuan masyarakat tentang pemanfaatan sekam sebagai energi alternatif. Sukaria et al. (Sukaria et al., 2024) juga menerapkan pelatihan teknis pengolahan sekam melalui tahapan produksi yang mudah diterapkan masyarakat. Pada aspek hilir, Oktafia et al. (Oktafia & Kinanti, 2024) mengintegrasikan pelatihan pembuatan briket dengan pemasaran digital untuk memperluas kemampuan komersialisasi produk. Studi terdahulu juga memperlihatkan bahwa respons pengguna terhadap teknologi sekam dipengaruhi pemahaman terhadap manfaat dan kemudahan penerapannya (Indriani, 2022). Qistina et al. (Qistina et al., 2016) menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar sekam tetap menjadi faktor penting dalam menentukan penerimaan produk biomassa. Pada konteks limbah pertanian lainnya, Diami et al. (Diami et al., 2024) membuktikan efektivitas pendekatan partisipatif melalui pelatihan, pendampingan, serta evaluasi sebelum dan sesudah kegiatan. Utama et al. (Utama et al., 2025) kemudian menunjukkan pentingnya integrasi keterampilan produksi dengan penguatan manajemen keuangan dan pemasaran produk biomassa. Literatur tersebut menunjukkan kemajuan penting, tetapi integrasi teknologi, ekonomi sirkular, kapasitas produksi, dan manajemen usaha masih terbatas.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, masalah utama penelitian adalah belum terintegrasinya pendekatan teknis dan manajerial dalam transformasi sekam menjadi produk energi pada industri penggilingan padi. Studi terdahulu dominan menguji karakteristik bahan atau melaksanakan pelatihan produksi secara terpisah. Penilaian dampak juga sering berfokus pada antusiasme peserta dan keberhasilan menghasilkan produk. Pendekatan tersebut belum menjelaskan perubahan pengetahuan, keterampilan produksi, kesadaran ekonomi sirkular, dan kesiapan pengelolaan usaha

secara terukur. Temuan Diami et al. (Diami et al., 2024) menunjukkan bahwa evaluasi sebelum dan sesudah intervensi dapat memberikan bukti dampak pemberdayaan yang lebih kuat. Penguatan aspek manajemen juga diperlukan agar keterampilan produksi berkembang menjadi aktivitas ekonomi berkelanjutan (Utama et al., 2025). Oleh karena itu, studi ini mengintegrasikan edukasi ekonomi sirkular, pelatihan produksi pelet biomassa, penerapan teknologi, keselamatan kerja, dan penguatan manajemen usaha. Tujuan studi adalah mengevaluasi efektivitas pendekatan tersebut dalam meningkatkan kapasitas mitra dan pemanfaatan sekam pada industri penggilingan padi. Pertanyaan penelitian pertama menilai perubahan pengetahuan dan keterampilan peserta setelah edukasi dan pendampingan. Pertanyaan kedua menilai kemampuan intervensi menghasilkan pelet biomassa sekam padi melalui prosedur produksi yang terstruktur. Pertanyaan ketiga menilai kontribusi program terhadap pembentukan praktik ekonomi sirkular pada tingkat industri. Kebaruan penelitian terletak pada model pemberdayaan terintegrasi yang menghubungkan dimensi pengetahuan, teknologi produksi, pemanfaatan limbah, dan kesiapan manajerial. Model tersebut mengembangkan pendekatan pelatihan terdahulu yang lebih dominan pada proses pembuatan produk. Ruang lingkup studi mencakup satu industri penggilingan padi di Kabupaten Malang dengan sekam sebagai aliran limbah utama. Evaluasi difokuskan pada perubahan kapasitas peserta, penerapan teknologi, kualitas proses, dan pemanfaatan limbah sebagai indikator transformasi ekonomi sirkular.

2. Metode

2.1 Desain Kegiatan, Lokasi, dan Peserta

Studi ini menggunakan desain intervensi satu kelompok dengan pengukuran sebelum dan sesudah kegiatan. Kegiatan dilaksanakan pada sektor industri penggilingan padi di Kecamatan Poncokusumo, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Peserta terdiri atas enam orang, yaitu satu pengelola dan lima pekerja yang terlibat langsung dalam kegiatan operasional. Seluruh pekerja dipilih menggunakan teknik total sampling karena jumlah tenaga kerja operasional terbatas dan seluruhnya terlibat dalam penerapan teknologi. Program menggunakan pendekatan Focus Group Discussion (FGD) dan Participatory Rural Appraisal (PRA) untuk membangun keterlibatan peserta selama kegiatan. FGD digunakan untuk mengidentifikasi volume sekam, praktik pengelolaan limbah, kebutuhan teknologi, keselamatan kerja, dan sistem produksi yang telah berjalan. PRA

digunakan dalam penyusunan rencana kegiatan, praktik produksi, evaluasi proses, dan penyusunan tindak lanjut. Intervensi dilaksanakan melalui lima tahap, yaitu sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan dan evaluasi, serta penguatan keberlanjutan. Pengukuran awal dilakukan sebelum kegiatan sosialisasi dan pelatihan. Pengukuran akhir dilakukan setelah peserta menyelesaikan pelatihan, praktik produksi, dan pendampingan. Pendampingan dilaksanakan selama delapan sampai dua belas minggu melalui kunjungan lapangan berkala. Seluruh peserta menggunakan kode identifikasi yang sama pada pengukuran awal dan akhir agar data dapat dipasangkan secara konsisten.

2.2 Bahan, Peralatan, dan Persiapan Produksi

Bahan utama kegiatan berupa sekam padi yang diperoleh langsung dari proses penggilingan pada lokasi kegiatan. Ketersediaan sekam mencapai sekitar 400–500 kilogram setiap hari berdasarkan catatan produksi awal. Sekam dipilih karena merupakan residu utama dan sebagian besar belum dimanfaatkan sebagai produk bernilai tambah. Peralatan utama berupa mesin pencetak pelet skala usaha kecil dengan kapasitas pengolahan sekitar 100–150 kilogram bahan per hari. Peralatan pendukung terdiri atas alat pengering, penggiling, ayakan, timbangan digital, wadah pencampur, alat ukur kadar air, dan perlengkapan keselamatan kerja. Spesifikasi model mesin, daya motor, diameter cetakan, serta kapasitas aktual dicatat berdasarkan unit yang diterapkan di lokasi kegiatan. Sekam terlebih dahulu dipisahkan dari batu, tanah, logam, dan kontaminan lain. Bahan kemudian dikeringkan dan diperiksa menggunakan alat ukur kadar air sebelum proses penggilingan. Sekam kering digiling dan diayak untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih seragam. Perekat alami ditambahkan berdasarkan massa bahan pada setiap batch. Campuran dihomogenkan sebelum dimasukkan ke mesin pencetak pelet. Pelet yang terbentuk didinginkan pada suhu ruang dan disimpan pada kondisi kering. Produk ditargetkan memiliki kadar air kurang dari 12% dan densitas lebih dari 1,00 gram per sentimeter kubik.

2.3 Pelaksanaan Intervensi dan Prosedur Produksi

Intervensi terdiri atas edukasi ekonomi sirkular, pelatihan produksi pelet, keselamatan kerja, penerapan teknologi, dan penguatan manajemen produksi. Materi ekonomi sirkular membahas pemanfaatan sekam sebagai sumber daya, pengurangan

residu, penciptaan nilai tambah, dan manfaat lingkungan. Materi produksi mencakup pemilahan bahan, pengeringan, penggilingan, pengayakan, pencampuran, pencetakan, pendinginan, penyimpanan, dan pemeriksaan mutu. Materi keselamatan kerja mencakup penggunaan alat pelindung diri, pengendalian debu, pemeriksaan mesin, penghentian operasi, dan penanganan kondisi darurat. Materi manajemen mencakup pencatatan bahan baku, hasil produksi, produk tidak sesuai, gangguan mesin, dan jadwal pemeliharaan. Pelatihan dilakukan melalui penjelasan terstruktur, demonstrasi, praktik langsung, diskusi, dan umpan balik kepada peserta. Setelah demonstrasi, peserta menjalankan proses produksi dengan pendampingan menggunakan prosedur operasional standar. Setiap batch dicatat berdasarkan jumlah sekam masuk, jumlah pelet keluar, waktu operasi, kadar air, dan kondisi produk. Kapasitas produksi awal ditargetkan sekurang-kurangnya 20 kilogram pelet setiap hari. Kinerja proses juga dievaluasi melalui tingkat pemanfaatan sekam, kestabilan operasi, keseragaman bentuk, dan jumlah produk yang tidak memenuhi persyaratan. Seluruh hasil pencatatan digunakan untuk menilai perubahan sistem pengelolaan sekam setelah penerapan intervensi.

2.4 Instrumen dan Pengukuran Efektivitas Program

Efektivitas program diukur menggunakan kuesioner terstruktur yang diberikan sebelum dan sesudah seluruh rangkaian intervensi. Instrumen menggunakan skala Likert lima tingkat dengan skor satu sampai lima. Skor satu menunjukkan kondisi sangat rendah, sedangkan skor lima menunjukkan kondisi sangat tinggi. Pengukuran efektivitas program terdiri atas lima variabel, yaitu pengetahuan ekonomi sirkular, keterampilan produksi pelet, keselamatan kerja, manajemen produksi, dan kesiapan keberlanjutan. Setiap variabel dibentuk oleh empat indikator pengukuran.

Variabel pengetahuan ekonomi sirkular diukur melalui pemahaman mengenai sekam sebagai sumber daya, pemanfaatan limbah, penciptaan nilai tambah, dan manfaat lingkungan. Variabel keterampilan produksi pelet diukur melalui kemampuan persiapan bahan, pengendalian kadar air, pengoperasian mesin, dan pemeriksaan mutu produk. Variabel keselamatan kerja mencakup penggunaan alat pelindung diri, pengendalian debu, keamanan pengoperasian mesin, dan prosedur penanganan kondisi darurat. Variabel manajemen produksi mencakup pencatatan bahan baku, pencatatan hasil produksi, penerapan prosedur operasional standar, dan penjadwalan

pemeliharaan mesin. Variabel kesiapan keberlanjutan mencakup kesiapan melakukan produksi secara mandiri, konsistensi pemanfaatan sekam, kesiapan melakukan pemeliharaan peralatan setelah pendampingan, dan kesiapan pengembangan produk.

Skor setiap variabel dihitung berdasarkan rerata empat indikator penyusunnya, sedangkan skor komposit dihitung berdasarkan rerata kelima variabel evaluasi. Variabel dan indikator tersebut disajikan pada Tabel 1 sebagai dasar evaluasi sebelum dan sesudah kegiatan. Pernyataan yang sama digunakan pada kedua pengukuran agar perubahan skor menggambarkan perubahan pada indikator yang setara. Instrumen juga ditelaah oleh tim pelaksana sebelum digunakan pada peserta.

2.5 Prosedur Analisis Data

Skor setiap variabel diperoleh dari rerata indikator yang membentuk variabel tersebut pada setiap peserta. Data sebelum dan sesudah kegiatan diringkas menggunakan rerata, simpangan baku, selisih skor, dan persentase perubahan. Perbedaan skor sebelum dan sesudah intervensi dianalisis menggunakan uji Wilcoxon signed-rank. Skor komposit dihitung berdasarkan rerata lima variabel, yaitu pengetahuan ekonomi sirkular, keterampilan produksi pelet, keselamatan kerja, manajemen produksi, dan kesiapan keberlanjutan. Uji Wilcoxon digunakan karena pengukuran berasal dari peserta yang sama dan data bersumber dari skala Likert. Pengujian menggunakan tingkat signifikansi 5% dan nilai probabilitas dua sisi. Besarnya dampak intervensi juga dianalisis menggunakan ukuran efek berbasis nilai Z agar interpretasi tidak hanya bergantung pada signifikansi statistik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perubahan Pengetahuan dan Kapasitas Peserta

Pertanyaan penelitian pertama menilai perubahan kapasitas peserta setelah mengikuti intervensi pemberdayaan berbasis ekonomi sirkular. Evaluasi dilakukan menggunakan lima variabel yang sama dengan pengukuran pada bagian metode, yaitu pengetahuan ekonomi sirkular, keterampilan produksi pelet, keselamatan kerja, manajemen produksi, dan kesiapan keberlanjutan. Setiap variabel merepresentasikan rerata dari empat indikator sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan evaluasi, seluruh variabel menunjukkan peningkatan setelah edukasi, pelatihan, penerapan teknologi, dan pendampingan. Skor komposit meningkat dari 2,18 menjadi 4,22 pada

skala lima tingkat, setara dengan peningkatan relatif sebesar 93,1%. Keterampilan produksi pelet menunjukkan peningkatan tertinggi sebesar 112,5%, dari 2,00 menjadi 4,25. Pengetahuan ekonomi sirkular meningkat sebesar 90,7%, sedangkan keselamatan kerja meningkat sebesar 87,3%. Manajemen produksi meningkat sebesar 86,5%, sementara kesiapan keberlanjutan meningkat sebesar 90,6%.

Peningkatan pengetahuan ekonomi sirkular mencerminkan penguatan pemahaman peserta mengenai sekam sebagai sumber daya, pemanfaatan limbah, penciptaan nilai tambah, dan manfaat lingkungan. Peningkatan keterampilan produksi pelet berkaitan dengan kemampuan persiapan bahan, pengendalian kadar air, pengoperasian mesin, dan pemeriksaan mutu produk. Perubahan pada keselamatan kerja berkaitan dengan penggunaan alat pelindung diri, pengendalian debu, keamanan pengoperasian mesin, dan penanganan kondisi darurat. Sementara itu, peningkatan manajemen produksi dan kesiapan keberlanjutan menunjukkan berkembangnya kemampuan pengelolaan proses serta kesiapan peserta mempertahankan kegiatan setelah pendampingan.. Temuan tersebut sejalan dengan kegiatan pemberdayaan biomassa yang menggunakan pelatihan partisipatif untuk meningkatkan kemampuan teknis masyarakat [14]–[17]. Pendekatan dalam studi ini memperluas proses tersebut melalui integrasi ekonomi sirkular, keselamatan kerja, standardisasi, dan manajemen produksi. Gambar 1 memperlihatkan rangkaian kegiatan pemberdayaan yang melibatkan peserta secara langsung dalam pengenalan hasil pemanfaatan sekam dan praktik penggunaan peralatan produksi pelet biomassa. Dokumentasi tersebut menunjukkan keterlibatan aktif peserta selama proses demonstrasi dan praktik, sehingga transfer pengetahuan tidak hanya dilakukan secara teoritis tetapi juga melalui pengalaman langsung. Pendekatan partisipatif ini mendukung peningkatan keterampilan teknis peserta sekaligus memperkuat kesiapan mereka dalam menerapkan proses produksi secara mandiri.

Tabel 2. Perubahan skor sebelum dan sesudah intervensi berdasarkan evaluasi

Variabel	Sebelum, Mean $\pm$ SD	Sesudah, Mean $\pm$ SD	Δ skor	Peningkatan (%)	Z	p	r

Pengetahuan ekonomi sirkular	2,25 ± 0,22	4,29 ± 0,19	2,04	90,7	-2,23	0,026	0,91
Keterampilan produksi pelet	2,00 ± 0,22	4,25 ± 0,22	2,25	112,5	-2,45	0,014	1,00
Keselamatan kerja	2,29 ± 0,19	4,29 ± 0,19	2,00	87,3	-2,45	0,014	1,00
Manajemen produksi	2,17 ± 0,20	4,04 ± 0,19	1,88	86,5	-2,26	0,024	0,92
Kesiapan keberlanjutan	2,21 ± 0,19	4,21 ± 0,19	2,00	90,6	-2,26	0,024	0,92
Skor komposit	2,18 ± 0,13	4,22 ± 0,15	2,03	93,1	-2,26	0,024	0,92

Catatan: Skor setiap variabel merupakan rerata empat indikator. Skor komposit merupakan rerata lima variabel evaluasi.

Hasil uji Wilcoxon menunjukkan perbedaan bermakna antara kondisi sebelum dan sesudah intervensi. Skor komposit menghasilkan nilai Z sebesar -2,26 dengan nilai probabilitas sebesar 0,024 dan ukuran efek sebesar 0,92. Perubahan tersebut merupakan hasil agregasi dari lima variabel evaluasi yang dibentuk oleh indikator-indikator sebagaimana ditetapkan pada Tabel 1. Peningkatan pada pengetahuan ekonomi sirkular, keterampilan produksi pelet, keselamatan kerja, manajemen produksi, dan kesiapan keberlanjutan menunjukkan bahwa perubahan kapasitas peserta berlangsung secara multidimensi. Peserta tidak hanya meningkatkan kemampuan pengoperasian mesin, tetapi juga pemahaman mengenai sumber daya, keselamatan kerja, pengelolaan produksi, serta keberlanjutan kegiatan. Hubungan tersebut penting karena transfer teknologi membutuhkan kemampuan teknis sekaligus pengendalian sistem produksi.. Teknologi tidak memberikan manfaat optimal ketika operator hanya mampu menjalankan mesin tanpa memahami mutu dan keselamatan. Hasil ini memperluas pendekatan pelatihan biomassa yang sebelumnya lebih menekankan kemampuan menghasilkan produk (Paduloh et al., 2019) (Zumrotin et al.,

2023) (Pasae et al., 2023) (Sukaria et al., 2024). Diami et al. (Diami et al., 2024) menunjukkan bahwa evaluasi sebelum dan sesudah kegiatan dapat memperkuat pengukuran dampak program pemberdayaan. Utama et al. (Utama et al., 2025) juga menegaskan pentingnya menghubungkan keterampilan produksi dengan kapasitas pengelolaan usaha. Dengan demikian, jawaban atas pertanyaan penelitian pertama menunjukkan bahwa intervensi terintegrasi membentuk kapasitas teknis dan manajerial secara bersamaan.

3.2 Produksi Pelet Biomassa dan Pemanfaatan Sekam

Pertanyaan penelitian kedua menilai kemampuan intervensi dalam membentuk proses produksi pelet biomassa yang terstruktur. Kondisi awal menunjukkan bahwa sektor penggilingan menghasilkan sekitar 400–500 kilogram sekam setiap hari. Nilai tengah sebesar 450 kilogram digunakan sebagai dasar analisis kinerja produksi. Sebelum intervensi, sekitar 30% sekam atau 135 kilogram per hari telah dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan. penerapan teknologi menggunakan tambahan 100 kilogram sekam setiap hari sebagai bahan baku pelet. Pemanfaatan total kemudian meningkat menjadi 235 kilogram atau 52,2% dari sekam yang dihasilkan. Dengan tingkat pemulihan massa sebesar 85%, produksi pelet mencapai sekitar 85 kilogram setiap hari. Jumlah tersebut melampaui target awal produksi sebesar 20 kilogram per hari. Peningkatan pemanfaatan terjadi tanpa meningkatkan volume gabah yang digiling. Perubahan berasal dari pengalihan sekam yang sebelumnya tidak produktif menuju proses densifikasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan sirkularitas dapat dicapai melalui perubahan pengelolaan aliran material. Tabel 3 memperlihatkan perubahan kinerja pengelolaan sekam dalam penerapan teknologi.



Gambar 1. Dokumentasi kegiatan pemberdayaan

Tabel 3. Perubahan kinerja pengelolaan sekam berdasarkan produksi

Indikator	Kondisi awal	Setelah intervensi	Perubahan
Sekam dihasilkan	450 kg/hari	450 kg/hari	Tetap
Sekam termanfaatkan	135 kg/hari	235 kg/hari	+74,1%
Tingkat pemanfaatan sekam	30,0%	52,2%	+22,2 poin
Sekam tidak termanfaatkan	315 kg/hari	215 kg/hari	-31,7%
Sekam untuk produksi pelet	0 kg/hari	100 kg/hari	+100 kg/hari
Pelet yang dihasilkan	0 kg/hari	±85 kg/hari	Produk baru

Karakteristik produk pada pengujian menunjukkan kadar air sebesar 10,5% dan densitas sebesar 1,07 gram per sentimeter kubik. Kedua parameter tersebut berada dalam target internal program, yaitu kadar air di bawah 12% dan densitas di atas 1,00

gram per sentimeter kubik. Pengendalian kedua parameter penting karena karakteristik bahan memengaruhi pembentukan dan kestabilan produk hasil densifikasi. Ndindeng et al. (Ndindeng et al., 2015) menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar padat dipengaruhi komposisi bahan dan kondisi pemadatan. Bajo dan Acda (Ajo & Acda, 2017) juga menunjukkan hubungan tekanan densifikasi dengan densitas dan kekuatan produk. Temuan Moliner et al. (Moliner et al., 2020) memperkuat pentingnya karakteristik fisik dan proses terhadap kualitas pelet berbasis residu padi. Niño et al. (Niño et al., 2020) juga menempatkan kondisi proses sebagai penentu sifat mekanis produk biomassa terdensifikasi. Hasil studi ini menghubungkan prinsip teknis tersebut dengan kemampuan operator menjalankan prosedur produksi. Keberhasilan produksi tidak hanya ditentukan oleh keberadaan mesin. Keberhasilan juga ditentukan oleh persiapan bahan, pengendalian kadar air, pencampuran, pencetakan, pendinginan, dan penyimpanan. Pertanyaan penelitian kedua karena itu dijawab melalui pembentukan sistem produksi yang mengintegrasikan bahan, teknologi, operator, dan pengendalian mutu.

3.3 Transformasi Praktik Ekonomi Sirkular

Pertanyaan penelitian ketiga menilai kontribusi program terhadap pembentukan praktik ekonomi sirkular pada tingkat sektor penggilingan padi. Peningkatan pemanfaatan sekam dari 30,0% menjadi 52,2% menggambarkan perubahan arah aliran material. Sekam yang sebelumnya tidak termanfaatkan dialihkan menjadi bahan baku produk energi. Perubahan ini menunjukkan proses valorisasi karena residu memperoleh fungsi ekonomi baru setelah melalui densifikasi. Nilai tambah tidak hanya berasal dari perubahan bentuk fisik sekam. Nilai juga terbentuk melalui peningkatan kemudahan penyimpanan, penanganan, penggunaan, dan potensi pemasaran produk. Perspektif tersebut sejalan dengan konsep ekonomi sirkular tingkat mikro yang menghubungkan manfaat ekonomi, lingkungan, dan sosial (Latif et al., 2023). Unrean et al. (Unrean et al., 2018) juga menegaskan bahwa pemilihan jalur konversi sekam perlu mempertimbangkan kinerja ekonomi dan lingkungan secara bersamaan. Studi ini menambahkan dimensi pemberdayaan sebagai mekanisme yang memungkinkan teknologi bekerja dalam kegiatan operasional. Peserta tidak hanya menerima mesin, tetapi juga memahami alasan pemanfaatan residu. Perubahan tersebut membentuk hubungan antara kesadaran sumber daya dan kemampuan melakukan konversi

material. Dengan demikian, ekonomi sirkular diterapkan melalui kombinasi perubahan persepsi, kompetensi, teknologi, dan pengelolaan proses.

Keunggulan pendekatan penelitian terletak pada hubungan berurutan antara edukasi dan perubahan pengelolaan material. Edukasi ekonomi sirkular membentuk kesadaran bahwa sekam merupakan sumber daya yang masih memiliki nilai. Pelatihan teknis mengubah kesadaran tersebut menjadi keterampilan persiapan bahan dan pengoperasian teknologi. Standardisasi proses menjaga agar keterampilan dapat menghasilkan keluaran dengan karakteristik yang terkendali. Pencatatan produksi kemudian menyediakan informasi untuk mengendalikan bahan, keluaran, gangguan, dan pemeliharaan mesin. Integrasi tersebut membedakan studi ini dari kajian teknis yang berfokus pada karakteristik densifikasi (Ndindeng et al., 2015) (Ajo & Acda, 2017) (Moliner et al., 2020) (Niño et al., 2020) (Unrean et al., 2018). Pendekatan ini juga memperluas kegiatan pemberdayaan yang dominan berfokus pada pembuatan produk biomassa (Paduloh et al., 2019) (Zumrotin et al., 2023) (Pasae et al., 2023) (Sukaria et al., 2024) (Oktafia & Kinanti, 2024). Konsep yang dihasilkan menunjukkan bahwa transformasi sirkular pada sektor industri kecil membutuhkan lima komponen yang saling berhubungan. Komponen tersebut terdiri atas kesadaran sumber daya, kompetensi teknis, standardisasi proses, valorisasi limbah, dan kesiapan keberlanjutan. Kelima komponen membentuk jalur perubahan dari pemahaman menuju pemanfaatan material yang terukur. Temuan ini menjawab pertanyaan penelitian ketiga dengan menunjukkan bahwa sirkularitas dibangun melalui integrasi manusia, teknologi, dan sistem pengelolaan.

3.4 Implikasi Teoretis

Implikasi teoretis studi dirumuskan melalui Kerangka Integrasi Pemberdayaan dan Produksi Sirkular. Kerangka tersebut membentuk alur: kesadaran sumber daya → kompetensi teknis → standardisasi proses → valorisasi limbah → kesiapan keberlanjutan. Kesadaran sumber daya menjadi tahap awal karena perubahan praktik dimulai dari perubahan cara memandang sekam. Kompetensi teknis kemudian memungkinkan peserta menjalankan proses konversi secara benar dan aman. Standardisasi proses menghubungkan kemampuan operator dengan konsistensi mutu dan kestabilan produksi. Valorisasi limbah menghasilkan perubahan nyata melalui peningkatan pemanfaatan material dan pembentukan produk baru. Kesiapan

keberlanjutan mempertahankan manfaat melalui pemeliharaan, pencatatan, produksi mandiri, dan pengembangan pasar. Kerangka ini memperluas konsep ekonomi sirkular tingkat mikro yang menekankan manfaat ekonomi, lingkungan, dan sosial (Latif et al., 2023). Kerangka tersebut juga melengkapi studi densifikasi yang dominan menempatkan parameter bahan dan proses sebagai penentu keberhasilan (Ajo & Acda, 2017; Moliner et al., 2020; Ndindeng et al., 2015; Niño et al., 2020). Kebaruan utamanya adalah penempatan kompetensi operator dan standardisasi sebagai mekanisme penghubung antara edukasi dan perubahan aliran material. Kerangka tersebut menunjukkan bahwa ekonomi sirkular pada sektor industri kecil merupakan proses sosio-teknis, bukan sekadar penerapan teknologi pengolahan limbah.

3.5 Implikasi Manajerial

Secara manajerial, temuan memberikan dasar bagi pengelola sektor penggilingan untuk menempatkan sekam sebagai aliran sumber daya yang perlu dikendalikan. Pengelola perlu menetapkan operator terlatih untuk menjaga kontinuitas proses dan memastikan penerapan prosedur operasional standar. Sistem pencatatan harian juga perlu mencakup jumlah bahan masuk, produk keluar, waktu operasi, produk tidak sesuai, dan gangguan mesin. Data tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi produktivitas dan menentukan kebutuhan pemeliharaan. Pengendalian kadar air dan densitas perlu ditempatkan sebagai indikator mutu utama pada tahap awal penerapan teknologi. Pendekatan tersebut mencegah keputusan produksi yang hanya berorientasi pada volume keluaran. Pengembangan pasar dapat dilakukan setelah konsistensi proses dan karakteristik produk terbentuk. Temuan studi juga menunjukkan bahwa investasi teknologi perlu disertai investasi pada kompetensi tenaga kerja. Teknologi tanpa standardisasi dan sistem informasi produksi akan membatasi manfaat pengelolaan sekam. Sebaliknya, integrasi teknologi, kompetensi, keselamatan, mutu, dan pencatatan memperkuat kesiapan pengelola untuk mempertahankan proses setelah pendampingan berakhir. Bagi pemangku kepentingan, kerangka ini dapat digunakan sebagai dasar penyusunan program pemberdayaan biomassa pada sektor pengolahan hasil pertanian lainnya.

4. Kesimpulan

Program pemberdayaan berbasis ekonomi sirkular menunjukkan peningkatan kapasitas peserta pada lima variabel evaluasi, yaitu pengetahuan ekonomi sirkular, keterampilan produksi pelet, keselamatan kerja, manajemen produksi, dan kesiapan keberlanjutan. Skor komposit meningkat dari 2,18 menjadi 4,22, dengan nilai probabilitas 0,024 dan ukuran efek 0,92. Peningkatan terbesar terjadi pada keterampilan produksi pelet. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi edukasi, praktik teknis, keselamatan kerja, penerapan teknologi, dan pendampingan dapat mendukung penguatan kapasitas pelaku usaha dalam memanfaatkan sekam sebagai sumber daya produktif. Pada aspek operasional, program membentuk proses produksi yang mencakup persiapan bahan, pengendalian kadar air, pengoperasian mesin, pemeriksaan mutu, pencatatan produksi, dan pemeliharaan peralatan. Penerapan teknologi juga meningkatkan tingkat pemanfaatan sekam dari 30,0% menjadi 52,2% dan menghasilkan produksi pelet sekitar 85 kg per hari. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa pemberdayaan tidak hanya berkaitan dengan peningkatan kompetensi peserta, tetapi juga dengan pembentukan praktik pemanfaatan limbah yang lebih terstruktur. Kontribusi konseptual program dirumuskan melalui Kerangka Integrasi Pemberdayaan dan Produksi Sirkular yang menghubungkan kesadaran sumber daya, kompetensi teknis, standardisasi proses, valorisasi limbah, dan kesiapan keberlanjutan. Keberlanjutan penerapan program memerlukan konsistensi pengendalian mutu, pemeliharaan peralatan, pencatatan produksi, serta pengembangan akses pasar pelet biomassa. Namun, hasil studi perlu diinterpretasikan dengan mempertimbangkan jumlah peserta yang terbatas dan desain satu kelompok tanpa kelompok pembanding. Penelitian dan program lanjutan disarankan melibatkan jumlah peserta serta periode pengamatan yang lebih besar, sekaligus mengevaluasi biaya produksi, efisiensi energi, kualitas pembakaran, produktivitas, kelayakan pasar, dan dampak lingkungan.

Referensi

- Ajo, P. O., Jr., & Acda, M. N. (2017). Fuel pellets from a mixture of rice husk and wood particles. *BioResources*, 12(3), 6618-6628.
- Arroyo Dagobeth, E. D. (2025). Co-pelletization of rice husk and corncob residues: Evaluation of physicochemical properties and combustion performance. *Recycling*, 10.

- Diami, B. A., Salsabilah, A. L., Salsabila, N. A., Djirimu, H. S., Utama, D. M., & Rosiani, T. Y. (2024). Pemberdayaan masyarakat dalam produksi briket dari limbah kulit jeruk di Kabupaten Malang. *KACANEGARA Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, 7(4).
- Dorokhov, V. V. (2024). Combustion and mechanical properties of pellets from biomass and industrial waste. *Renewable Energy*, 228.
- Indriani, G. A. (2022). Respon petani terhadap pemanfaatan limbah sekam padi menjadi briket di Desa Karangsambung. *Journal of Sustainable Agribusiness*, 1(1), 8-13.
- Latif, A., Cahyandito, M. F., & Utama, G. L. (2023). Circular economy concept at the micro-level: A case study in West Java, Indonesia. *Agriculture*, 13(3).
- Matin, H. H. A., Syafrudin, S., & Suherman, S. (2023). Rice husk waste: Impact on environmental health and potential as biogas. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 18(3), 431-436.
- Moliner, C., Lagazzo, A., Bosio, B., Botter, R., & Arato, E. (2020). Production, characterization, and evaluation of pellets from rice harvest residues. *Energies*, 13(2).
- Ndindeng, S. A., Mbassi, J. E. G., & Mbacham, W. F. (2015). Quality optimization in briquettes made from rice milling by-products. *Energy for Sustainable Development*, 29, 24-31.
- Niño, A., Arzola, N., & Araque, O. (2020). Experimental study on the mechanical properties of biomass briquettes from a mixture of rice husk and pine sawdust. *Energies*, 13(5).
- Oktafia, L., & Kinanti, I. A. (2024). Pelatihan pembuatan dan pemasaran digital briket limbah sekam di Desa Punggul, Sidoarjo. *ABIMANYU: Journal of Community Engagement*, 5(1).
- Paduloh, Fauzi, A., Fauzan, A., Zulkarnaen, I., & Ridwan, M. (2019). Pelatihan pemanfaatan limbah sekam padi menjadi briket untuk meningkatkan nilai ekonomis. *Jurnal ABDIMAS UBJ*, 2(1), 17-23.
- Pasae, N., Bontong, Y., Sampelawang, P., Nitha, Fikran, & Rante, M. (2023). Pembuatan briket dari arang sekam padi sebagai bahan bakar alternatif. *Community Development Journal*, 4(6), 13741-13745.
- Qistina, I., Sukandar, D., & Trilaksono, T. (2016). Kajian kualitas briket biomassa dari sekam padi dan tempurung kelapa. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(2), 136-142.

- Sari, A. I. (2022). Empowering the community in the use of livestock waste for biogas. *Sustainability*, 14(21).
- Sekifuji, R., & Tateda, M. (2019). Study of the feasibility of a rice husk recycling scheme in Japan to produce silica fertilizer. *Sustainable Environment Research*, 29.
- Setioputro, N. T., Kosim, M., & Saputra, D. I. (2023). Investigation of experimental study of biomass performance of wood pellets, palm shells, and rice husk. *Journal of Earth Energy Engineering*.
- Sukaria, M. I., Perdana, R., & Risnah, I. A. (2024). Pembuatan briket dari limbah sekam padi di Desa Gona Kecamatan Kajuara. *ABDI KIMIA: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(2), 39-43.
- Syaukat, Y. (2024). Utilization of agricultural waste for sustainable food production in Indonesia. *Journal of ISSAAS*, 30(1), 216-226.
- Unrean, P., Lai Fui, B. C., Rianawati, E., & Acda, M. (2018). Comparative techno-economic assessment and environmental impacts of rice husk-to-fuel conversion technologies. *Energy*, 151, 581-593.
- Utama, D. M., Rosiani, T. Y., & Baroto, T. (2025). Peningkatan keterampilan manajemen keuangan dan pemasaran briket limbah kulit jeruk. *Yumary: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1), 73-83.
- Yasa, A. D., Kumala, F. N., & Utama, D. M. (2023). Mewujudkan Sekolah Ramah Lingkungan: Program Eco Printing untuk Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 141-147.
- Zumrotin, A., Maherani, Jannah, F. R., & Suryani, M. (2023). Pelatihan dan pemanfaatan sekam padi menjadi briket bio arang sebagai usaha mikro masyarakat. *Jurnal Wicara Desa*, 1(1), 109-114.