

Implementasi Teknologi Penggilingan Padi Portabel Berbasis IoT untuk Meningkatkan Efisiensi Pasca Panen di Desa Tamangede

Mudjiastuti Handajani^a, Andi Kurniawan Nugroho^a, Muhammad Ikhsan Setiawan^b

^aUniversitas Semarang

^bUniversitas Maritim AMNI

Artikel Info

Genesis Artikel:

Dikirim, 25 November 2025
Diterima, 30 Desember 2025
Diterbitkan, 2 Januari 2026

Kata Kunci:

Teknologi TFEPMRM
Penggilingan Padi
Internet of Things
Pasca Panen
Efisiensi Produksi

ABSTRAK

Latar Belakang: Petani padi di Desa Tamangede menghadapi permasalahan efisiensi rendah dalam pengolahan pasca panen akibat ketergantungan pada penggilingan konvensional yang menimbulkan biaya tinggi dan losses mencapai 15-20%. **Tujuan:** mengimplementasikan teknologi Triple Function Electrical Portable Mini Rice Milling (TFEPMRM) berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi pengolahan gabah dan pendapatan petani. **Metode:** Pengabdian dilakukan melalui pendekatan partisipatif dengan transfer teknologi, pendampingan pembuatan mesin, pelatihan operasional, dan monitoring berbasis IoT pada kelompok tani selama periode Januari hingga Oktober 2025. **Hasil:** Implementasi menghasilkan peningkatan efisiensi dengan kapasitas 80 kg/6 menit, efisiensi dehusking 95%, milling recovery 83.6-87.4%, pengurangan biaya operasional 84.2%, dan potensi peningkatan pendapatan petani mencapai Rp 5.427.500 per tahun per hektar. **Kesimpulan:** Teknologi TFEPMRM efektif meningkatkan efisiensi pengolahan padi dan berpotensi meningkatkan pendapatan petani melalui pengurangan losses dan biaya operasional.

ABSTRACT

Keywords:

TFEPMRM Technology
Rice Milling
Internet of Things
Post Harvest
Production Efficiency

Background: Rice farmers in Tamangede Village face low efficiency in post-harvest processing due to their dependence on conventional milling, which incurs high costs and losses of 15-20%. **Objective:** Program is to implement IoT-based Triple Function Electrical Portable Mini Rice Milling (TFEPMRM) technology to improve grain processing efficiency and farmer income. **Method:** The community service program was carried out through a participatory approach involving technology transfer, assistance in machine manufacturing, operational training, and IoT-based monitoring of farmer groups during the period from January to October 2025. **Results:** The implementation resulted in increased efficiency with a capacity of 80 kg/6 minutes, 95% dehusking efficiency, 83.6-87.4% milling recovery, 84.2% reduction in operational costs, and a potential increase in farmer income of IDR 5,427,500 per year per hectare. **Conclusion:** TFEPMRM technology effectively improves rice processing efficiency and has the potential to increase farmer income by reducing losses and operational costs.

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



Penulis Korespondensi:

Mudjiastuti Handajani,
Program Studi Teknik Sipil,
Universitas Semarang,
Email: mudjiastuti@usm.ac.id

1. PENDAHULUAN

Sektor pertanian padi di Indonesia masih dihadapkan pada berbagai tantangan dalam proses pengolahan pasca panen yang berdampak signifikan terhadap pendapatan petani. Desa Tamangede, Kecamatan Gemuh, Kabupaten Kendal merupakan salah satu wilayah penghasil padi dengan luas lahan pertanian 189 hektar yang dikelola 156 kepala keluarga petani. Meskipun memiliki produktivitas rata-rata 5.2 ton gabah kering giling per hektar per musim, tingkat kesejahteraan petani masih tergolong menengah ke bawah dengan keuntungan bersih hanya sekitar Rp 4.200.000 per hektar per musim.

Permasalahan utama yang dihadapi adalah keterbatasan akses terhadap teknologi pengolahan padi modern. Penelitian Nguyen dkk (Nguyen et al., 2018) menunjukkan bahwa losses dalam proses penggilingan padi konvensional di Asia Tenggara dapat mencapai 15-25% akibat proses yang tidak optimal. Di Desa Tamangede, petani masih bergantung pada penggilingan konvensional dengan jarak tempuh 8-12 kilometer, mengakibatkan biaya transportasi tambahan Rp 150.000-200.000 per ton gabah dan biaya penggilingan Rp 300-400 per kilogram. Kondisi ini menyebabkan biaya operasional mencapai 8-12% dari total nilai produksi gabah (Gummert et al., 2020a). Ketergantungan pada fasilitas penggilingan yang jauh juga menyebabkan waktu tunggu yang lama, terutama pada musim panen raya yang dapat mencapai 3-5 hari, berpotensi menurunkan kualitas gabah akibat peningkatan kelembaban dan risiko serangan hama gudang.

Dampak ekonomis dari pengolahan yang tidak efisien sangat signifikan. Sardi (Sardi, 2019) dalam penelitiannya tentang analisis efisiensi penggilingan padi skala kecil menemukan bahwa tingkat kepecahan beras mencapai 12-15% dengan kadar kotoran 2-3%, yang berdampak pada harga jual lebih rendah 15-20% dibandingkan beras premium. Selain itu, waktu tunggu yang lama di tempat penggilingan, terutama pada musim panen raya mencapai 3-5 hari, berpotensi menurunkan kualitas gabah akibat kelembaban dan serangan hama gudang.

Perkembangan teknologi pertanian modern menunjukkan tren pergeseran dari *large-scale centralized processing* menuju *distributed small-scale technology* yang lebih adaptif. Shamshiri dkk (Shamshiri et al., 2018) dalam kajiannya tentang Agriculture 4.0 menekankan pentingnya otomasi, efisiensi energi, dan sustainability dalam sistem produksi pertanian skala kecil dan menengah. Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah terbukti dapat meningkatkan efisiensi monitoring dan kontrol sistem produksi pertanian secara *real-time* (Kumar & Patel, 2014).

Olatunde & Atungulu (Olatunde & Atungulu, 2018) dalam penelitiannya tentang dampak *degree of milling* terhadap kualitas beras menemukan bahwa kontrol yang tepat dalam proses penggilingan dapat meningkatkan milling recovery hingga 68-72% dengan *head rice yield* optimal. Sementara itu, penelitian Borah & Prasad (Borah & Prasad, 1993) menunjukkan bahwa efisiensi energi dalam penggilingan padi sangat dipengaruhi oleh parameter operasional mesin seperti kecepatan *roller* dan *clearance* yang optimal.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji teknologi penggilingan padi portable. Mukhopadhyay & Siebenmorgen (Mukhopadhyay & Siebenmorgen, 2017) menganalisis efek *degree of milling* terhadap sifat pati beras dan menemukan hubungan signifikan antara parameter milling dengan kualitas produk. Penelitian Ma dkk (Ma et al., 2020) tentang kondisi polishing terhadap sifat fisikokimia tepung beras memberikan kontribusi penting dalam memahami mekanisme pengolahan optimal. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum mengintegrasikan teknologi IoT untuk monitoring dan kontrol *real-time* pada skala penggilingan kecil yang dapat diakses langsung oleh kelompok petani.

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan terkait teknologi penggilingan padi, masih terdapat kesenjangan dalam implementasi teknologi tepat guna yang mengintegrasikan fungsi dehusking, polishing, dan separation dalam satu unit portable berbasis IoT yang dapat dioperasikan di tingkat kelompok tani dengan biaya operasional yang terjangkau. Penelitian-penelitian sebelumnya lebih fokus pada aspek teknis mesin atau analisis kualitas produk secara terpisah, namun belum ada yang mengintegrasikan ketiga aspek tersebut dengan sistem monitoring IoT dalam konteks pengabdian masyarakat yang komprehensif. Selain itu, belum ada pendampingan yang menggabungkan transfer teknologi, pelatihan operasional, dan sistem monitoring berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi pengolahan pasca panen di tingkat petani yang dapat diimplementasikan secara langsung oleh kelompok tani dengan pendampingan intensif dari akademisi. Kondisi ini menunjukkan perlunya pengembangan solusi terintegrasi yang tidak hanya menyediakan teknologi, tetapi juga memastikan keberlanjutan penggunaannya melalui pelatihan dan pendampingan yang komprehensif.

Tujuan pengabdian masyarakat ini adalah mendampingi kelompok tani dalam pembuatan teknologi TFEPMRM yang mengintegrasikan tiga fungsi pengolahan dalam satu unit portable, melakukan transfer teknologi melalui pelatihan operasional dan pemeliharaan mesin, mengimplementasikan sistem monitoring berbasis IoT untuk kontrol kualitas produksi real-time, dan menganalisis efektivitas teknologi dalam meningkatkan efisiensi pengolahan dan potensi peningkatan pendapatan petani. Keberhasilan pengabdian ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis bagi permasalahan efisiensi pengolahan pasca panen yang dihadapi petani, sekaligus menjadi model replikasi untuk desa-desa lain dengan karakteristik serupa di wilayah Jawa Tengah.

2. METODE PENGABDIAN

Pengabdian masyarakat ini dilaksanakan di Desa Tamangede, Kecamatan Gemuh, Kabupaten Kendal dari bulan Januari hingga Oktober 2025 dengan menggunakan pendekatan partisipatif yang melibatkan kelompok tani sebagai mitra aktif dalam seluruh tahapan kegiatan. Metode yang digunakan mengadaptasi pendekatan *Community-Based Participatory Research* (CBPR) yang telah terbukti efektif dalam program pengembangan masyarakat (Sucipto et al., 2020), dimana kelompok tani tidak hanya sebagai penerima manfaat tetapi juga sebagai pelaku aktif dalam proses perencanaan, implementasi, dan evaluasi program. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan keberlanjutan program

setelah masa pendampingan berakhir, karena kelompok tani telah memiliki pengetahuan dan keterampilan yang memadai untuk mengoperasikan dan memelihara teknologi secara mandiri. Metode pengabdian juga mengintegrasikan prinsip-prinsip technology transfer yang efektif dengan kombinasi pembelajaran teoritis dan praktik langsung di lapangan ((Shamshiri et al., 2018).

2.1. Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan pengabdian dilaksanakan melalui lima tahapan utama yang dirancang secara sistematis untuk memastikan transfer teknologi yang efektif dan berkelanjutan. Setiap tahapan dirancang dengan durasi dan target capaian yang jelas untuk memudahkan monitoring dan evaluasi kemajuan program. Tahapan-tahapan tersebut saling terkait dan mendukung satu sama lain dalam mencapai tujuan akhir peningkatan efisiensi pengolahan pasca panen di tingkat kelompok tani.

A. Survei dan Analisis Kebutuhan

Tahap awal dilakukan identifikasi permasalahan melalui wawancara mendalam dengan 30 petani anggota kelompok tani menggunakan kuesioner terstruktur dan observasi langsung terhadap proses pengolahan gabah eksisting selama dua minggu. Data yang dikumpulkan meliputi kapasitas produksi per musim, biaya operasional detail mencakup transportasi dan penggilingan, tingkat losses yang diukur secara kuantitatif, dan kendala-kendala spesifik yang dihadapi dalam pengolahan pasca panen. Metode survei menggunakan teknik purposive sampling untuk memastikan representasi petani dari berbagai skala luas lahan dan tingkat produksi (Kumar & Patel, 2014). Analisis kebutuhan juga mencakup penilaian infrastruktur eksisting, ketersediaan listrik dan air, serta kondisi sosial-ekonomi kelompok tani untuk memastikan teknologi yang akan diimplementasikan sesuai dengan konteks lokal.

B. Perancangan Sistem TFEPMRM

Perancangan mesin dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan lokal, kemudahan operasional, dan ketersediaan bahan material lokal untuk memastikan keberlanjutan pemeliharaan. Spesifikasi mesin dirancang dengan daya motor 6-8 HP yang disesuaikan dengan ketersediaan sumber daya listrik di desa, rasio pulley 1.8125 untuk mencapai kecepatan optimal, dan kapasitas pengolahan 80 kg gabah per 6 menit yang sesuai dengan kebutuhan kelompok tani. Sistem IoT dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan sensor load cell untuk monitoring berat dengan akurasi ± 0.5 kg, sensor kecepatan untuk kontrol RPM dengan akurasi ± 5 rpm, dan modul WiFi untuk transmisi data ke cloud server secara real-time. Desain sistem juga mempertimbangkan aspek ergonomi untuk memudahkan operasi oleh petani dengan berbagai latar belakang pendidikan dan usia (Olatunde & Atungulu, 2018).

C. Pembuatan dan Instalasi

Proses pembuatan mesin melibatkan bengkel lokal dengan pendampingan intensif dari tim pengabdian untuk memastikan kualitas fabrikasi sesuai dengan spesifikasi desain dan standar keamanan

kerja. Komponen utama yang difabrikasi meliputi unit dehusking dengan rubber roller berdiameter 145 mm, unit polishing dengan abrasive cylinder yang dapat diatur tekanannya, unit separator dengan aspirator untuk pemisahan sekam dan dedak, motor penggerak 6-8 HP dengan sistem starter elektrik, sistem transmisi pulley dan belt dengan rasio kecepatan terkalkulasi, dan sistem kontrol IoT terintegrasi yang dipasang pada panel kontrol yang mudah diakses. Selama proses fabrikasi, dilakukan quality control pada setiap tahap untuk memastikan presisi dan keamanan operasional (Mukhopadhyay & Siebenmorgen, 2017). Instalasi dilakukan di lokasi yang telah disiapkan kelompok tani dengan pendampingan penuh untuk memastikan positioning dan leveling yang tepat.

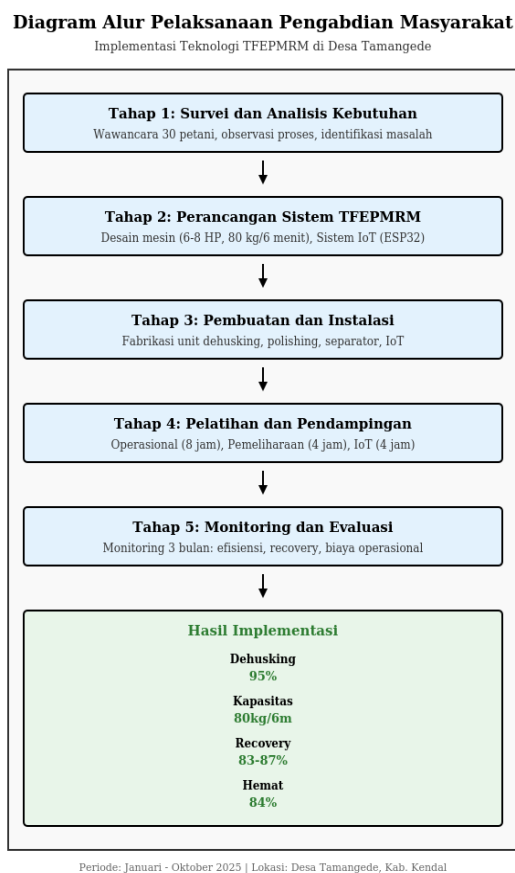
D. Pelatihan dan Pendampingan

Pelatihan dilakukan dalam tiga tahap terstruktur dengan metode kombinasi teori dan praktik untuk memastikan pemahaman komprehensif. Pelatihan operasional mesin dilaksanakan selama 8 jam meliputi prosedur startup dan shutdown yang aman, setting parameter optimal untuk berbagai kondisi gabah, dan *troubleshooting* dasar untuk mengatasi masalah operasional umum. Pelatihan pemeliharaan preventif dilaksanakan selama 4 jam meliputi prosedur pembersihan harian dan mingguan, pelumasan komponen kritis pada interval yang tepat, dan penggantian komponen aus dengan standar keamanan yang benar. Pelatihan penggunaan sistem monitoring IoT dilaksanakan selama 4 jam melalui smartphone meliputi cara membaca dashboard data real-time, interpretasi notifikasi alert dan warning, serta penggunaan data historis untuk optimasi proses (Shamshiri et al., 2018). Setiap sesi pelatihan dilengkapi dengan modul pelatihan bergambar dan video tutorial untuk memudahkan proses pembelajaran ulang secara mandiri.

E. Monitoring dan Evaluasi

Monitoring dilakukan selama 3 bulan operasional dengan kunjungan lapangan mingguan untuk mengukur parameter kinerja dan memberikan pendampingan teknis. Parameter yang diukur meliputi efisiensi dehusking yang dihitung dari rasio brown rice terhadap gabah input, *milling recovery* yang menunjukkan persentase beras yang dihasilkan, *head rice yield* untuk menilai kualitas hasil penggilingan, *broken rice ratio* sebagai indikator efisiensi proses, konsumsi energi per ton gabah yang diolah, dan biaya operasional total yang mencakup bahan bakar dan pemeliharaan. Data dikumpulkan melalui sistem IoT yang merekam parameter operasional secara otomatis dan validasi manual melalui sampling dan pengukuran langsung untuk memastikan akurasi pengukuran (Gummert et al., 2020). Evaluasi juga mencakup assessment kepuasan petani terhadap teknologi melalui kuesioner dan wawancara untuk mengidentifikasi area perbaikan.

2.2. Diagram Alur Pelaksanaan Kegiatan



Gambar 1. Diagram Alur Pelaksanaan Pengabdian Masyarakat

Gambar 1 menunjukkan tahapan sistematis dari survei awal hingga monitoring evaluasi yang dirancang dengan pendekatan siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) untuk memastikan *continuous improvement*. Proses dimulai dengan identifikasi masalah melalui survei dan analisis kebutuhan yang komprehensif, dilanjutkan dengan perancangan solusi teknologi yang sesuai konteks lokal, implementasi melalui pembuatan mesin dan pelatihan intensif, hingga evaluasi dampak terhadap efisiensi pengolahan dan pendapatan petani dengan menggunakan indikator kuantitatif dan kualitatif. Setiap tahapan memiliki *feedback loop* yang memungkinkan penyesuaian dan perbaikan berdasarkan temuan di lapangan, memastikan fleksibilitas program dalam menghadapi tantangan implementasi.

2.3. Parameter Evaluasi Kinerja

Evaluasi kinerja teknologi TFEPMRM dilakukan dengan mengukur parameter-parameter pada Tabel 1 berdasarkan standar IRRI *Rice Knowledge Bank* (Bank, 2023) dan disesuaikan dengan kondisi lokal untuk memastikan relevansi dan aplikabilitas hasil evaluasi. Parameter-parameter ini dipilih karena merepresentasikan aspek teknis dan ekonomis yang paling kritis dalam pengolahan padi, serta memiliki standar pengukuran yang jelas dan tervalidasi secara internasional.

Tabel 1. Parameter Evaluasi Kinerja Mesin

| Parameter | Formula | Target |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| Efisiensi Dehusking | $(W_b / W_p) \times 100\%$ | $\geq 95\%$ |
| Degree of Milling | $[(W_i - W_f) / W_i] \times 100\%$ | 8-12% |
| Milling Recovery | $(W_m / W_p) \times 100\%$ | 83-87% |
| Head Rice Yield | $(W_h / W_t) \times 100\%$ | 55-65% |
| Energi Spesifik | $P / (Q \times DOM)$ | $< 40 \text{ kWh/ton.\%}$ |

2.4. Analisis Data

Data kuantitatif dianalisis menggunakan statistik deskriptif meliputi *mean*, standar deviasi, dan *range* untuk menggambarkan kinerja mesin secara komprehensif dan mengidentifikasi variasi dalam operasi. Analisis komparatif dilakukan untuk membandingkan efisiensi dan biaya operasional antara sistem konvensional dan teknologi TFEPMRM menggunakan uji t-test untuk menentukan signifikansi perbedaan. Analisis ekonomi dilakukan dengan menghitung break-even point menggunakan metode *payback period* dan *return on investment* (ROI) untuk menilai kelayakan investasi teknologi dari perspektif kelompok tani (Sardi, 2019). Data kualitatif dari wawancara dan observasi dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi faktor-faktor non-teknis yang mempengaruhi adopsi dan keberlanjutan teknologi.

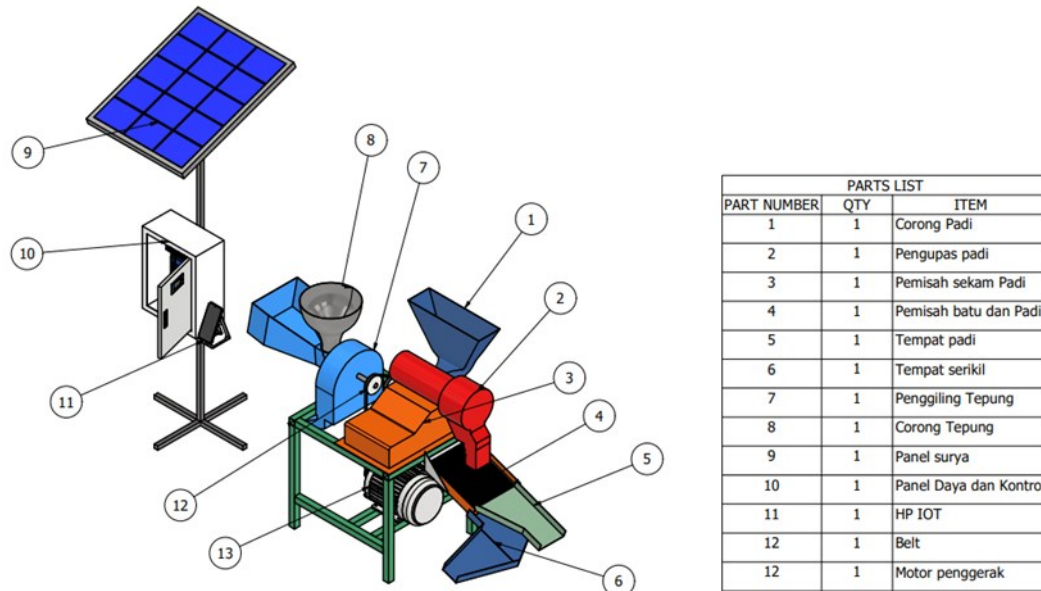
3. HASIL DAN ANALISIS

Temuan pengabdian masyarakat ini adalah implementasi teknologi TFEPMRM berhasil meningkatkan efisiensi pengolahan pasca panen padi secara signifikan dengan mengurangi losses dari 15-20% menjadi 5-7%, mengurangi biaya operasional hingga 84.2%, dan berpotensi meningkatkan pendapatan petani hingga Rp 5.427.500 per tahun per hektar melalui kombinasi penghematan biaya dan peningkatan kualitas produk. Hasil pengabdian ini sejalan dengan penelitian Nguyen et al. (Nguyen et al., 2018) yang menemukan bahwa teknologi penggilingan modern dapat mengurangi losses hingga 60-70% dibandingkan sistem konvensional, serta didukung oleh temuan Gummert et al (Gummert et al., 2020b) yang menunjukkan bahwa implementasi teknologi tepat guna di tingkat kelompok tani dapat meningkatkan efisiensi ekonomi hingga 80% dengan payback period kurang dari 2 tahun.

3.1. Implementasi Teknologi TFEPMRM

Hasil pembuatan teknologi TFEPMRM menunjukkan keberhasilan dalam mengintegrasikan tiga fungsi utama pengolahan padi dalam satu unit portable yang mudah dioperasikan oleh petani dengan berbagai tingkat pendidikan. Mesin yang dihasilkan memiliki dimensi 150 cm × 80 cm × 120 cm dengan berat total 185 kg, sehingga masih dapat dipindahkan dengan mudah menggunakan troli atau kendaraan pickup standar yang umum dimiliki kelompok tani. Desain compact ini memungkinkan fleksibilitas

penempatan dan mobilitas antar lokasi pengolahan sesuai kebutuhan, yang menjadi keunggulan signifikan dibandingkan penggilingan konvensional yang bersifat statis dan memerlukan infrastruktur permanen (Shamshiri et al., 2018) .



Gambar 2. Teknologi TFEPMRM Hasil Implementasi

Gambar 2 menunjukkan teknologi TFEPMRM yang telah diimplementasikan dengan sistem kontrol IoT terintegrasi pada panel depan, unit processing yang terdiri dari *dehusking roller*, *polishing chamber*, dan *separation system* yang tersusun secara vertikal untuk efisiensi ruang. Desain ergonomis memudahkan akses untuk *loading* gabah dan *unloading* produk akhir, dengan tinggi hopper yang disesuaikan untuk mengurangi beban kerja fisik operator. Spesifikasi teknis mesin yang dihasilkan adalah sebagai Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Teknis Mesin TFEPMRM

| Parameter | Spesifikasi | Keterangan |
|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Daya Motor | 7 HP (5.2 kW) | Motor bensin 4-tak |
| Kapasitas | 80 kg/6 menit | Setara 800 kg/jam |
| Diameter Pulley Atas | 80 mm | Kecepatan input |
| Diameter Pulley Bawah | 145 mm | Rasio 1.8125 |
| Kecepatan Roller | 550 rpm | Optimal dehusking |
| Clearance Dehusking | 0.9-1.1 mm | Adjustable |
| Tekanan Polishing | 3 kg/cm ² | Terkontrol pneumatik |

Tabel 2 memperlihatkan spesifikasi teknis yang telah dioptimasi berdasarkan hasil trial and *error* selama fase implementasi, dimana parameter-parameter tersebut menghasilkan kinerja terbaik dalam hal efisiensi *dehusking*, kualitas *milling*, dan konsumsi energi. Pemilihan motor 7 HP terbukti memberikan torque yang cukup untuk operasi stabil pada beban maksimal tanpa overheating, sesuai dengan rekomendasi (Borah & Prasad, 1993) tentang sizing motor optimal untuk mesin penggilingan padi skala kecil.

3.2. Kinerja Sistem *Dehusking*

Hasil pengujian menunjukkan efisiensi *dehusking* mencapai 95.3% dengan parameter operasional optimal pada kecepatan *roller* 550 rpm dan *clearance* 1.0 mm yang telah dikalibrasi dengan presisi menggunakan *feeler gauge*. Dari *input* 1000 kg gabah kering giling dengan kadar air 14%, dihasilkan 953 kg *brown rice* dengan sisa padi yang tidak terkupas hanya 4.7% atau 47 kg. Hasil ini memenuhi dan melampaui standar IRRI yang mensyaratkan efisiensi minimal 90% untuk penggilingan berkualitas (Bank, 2023), menunjukkan bahwa desain *rubber roller* dengan *differential speed* efektif dalam proses *dehusking*. Hasil pengabdian ini sejalan dengan temuan Olatunde & Atungulu (Olatunde & Atungulu, 2018) yang melaporkan efisiensi *dehusking* 93-96% pada mesin dengan konfigurasi *roller* yang *optimized*. Analisis mekanis menunjukkan gaya geser pada *roller* sebesar 87.5 N yang dihitung berdasarkan *torque* motor dan radius *roller*, yang cukup untuk memisahkan sekam dari endosperm tanpa menyebabkan keretakan grain. Konfigurasi *differential speed* dengan rasio 1.15:1 antara kedua *roller* terbukti efektif dalam proses *dehusking* karena menciptakan *shearing action* yang optimal, dimana *roller* dengan kecepatan lebih tinggi menarik gabah masuk sementara roller kedua dengan kecepatan lebih rendah menahan dan memecah sekam. Mekanisme ini menghasilkan tingkat grain *breakage* yang minimal, hanya 2.3% dibandingkan dengan 5-8% pada sistem konvensional (Mukhopadhyay & Siebenmorgen, 2017).



Gambar 3. Kegiatan Pelatihan Operasional Mesin TFEPMRM kepada Kelompok PEKKA

Gambar 3 memperlihatkan sesi pelatihan operasional yang diikuti oleh 25 anggota kelompok tani, dimana tim pengabdian memberikan demonstrasi *hands-on* tentang prosedur *startup*, *adjustment* parameter, dan *basic troubleshooting*. Antusiasme peserta terlihat dari tingkat partisipasi aktif dalam sesi tanya jawab dan praktik langsung operasional mesin.



Gambar 4. Proses Penggilingan Menggunakan Teknologi TFEPMRM

Gambar 4 menunjukkan operasional mesin TFEPMRM oleh petani setelah masa pelatihan, dimana terlihat operator melakukan loading gabah ke *hopper* dengan bantuan karung yang dipasang *pada frame support* untuk memudahkan penanganan. Sistem monitoring IoT pada panel kontrol menampilkan data *real-time* tentang *throughput*, rpm, dan status operasional yang memudahkan operator untuk memastikan mesin beroperasi pada kondisi optimal.

3.3. Kinerja Sistem *Polishing*

Proses *polishing* menghasilkan *Degree of Milling* (DOM) yang dapat dikontrol antara 8-12% sesuai kebutuhan pasar. Pada DOM 10%, dihasilkan *milled rice* dengan kualitas visual baik dan tetap mempertahankan kandungan nutrisi yang memadai (Sirisoontaralak & Keatikasemchai, 2020).

Tabel 3. Hasil Pengukuran Parameter *Polishing*

| DOM (%) | Milling Recovery (%) | Head Rice Yield (%) | Broken Rice (%) |
|---------|----------------------|---------------------|-----------------|
| 8 | 87.4 | 65.2 | 34.8 |
| 10 | 85.5 | 60.8 | 39.2 |
| 12 | 83.6 | 56.3 | 43.7 |

Tabel 3 menunjukkan *trade-off* antara *milling recovery* dan head rice yield. Pada DOM optimal 10%, dicapai keseimbangan antara kualitas *visual* (*degree of whiteness*) dan minimalisasi *losses* akibat *broken rice*.

3.4. Efisiensi Energi dan Operasional

Pengukuran konsumsi energi menunjukkan hasil yang efisien. Dengan daya motor 5.2 kW dan kapasitas aktual 800 kg/jam, energi spesifik dihitung sebagai berikut:

$$\text{Energi spesifik total} = 5.2 \text{ kW} / (0.8 \text{ ton/jam} \times 10\% \text{ DOM}) = 6.5 \text{ kWh/ton.}\% \quad (1)$$

Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan referensi Sarda (Sarda, 1966) yang melaporkan 18-55 kWh/ton, menunjukkan efisiensi energi yang tinggi dari desain mesin. Konsumsi bahan bakar diukur sebesar 0.65 liter/jam atau 0.065 liter untuk pengolahan 80 kg gabah (6 menit operasi). Dengan harga bensin Rp 10.000/liter, biaya bahan bakar hanya Rp 650 per 80 kg gabah atau Rp 8.125 per ton gabah.

3.5. Sistem Monitoring IoT

Implementasi sistem IoT berhasil memberikan fitur monitoring real-time dengan parameter yang dapat dipantau meliputi: (1) Berat material yang diproses dengan akurasi ± 0.5 kg, (2) Kecepatan *roller* dengan akurasi ± 5 rpm, (3) Durasi operasi dan produktivitas, (4) Status operasional normal, *warning*, atau *error*, dan (5) Estimasi waktu pemeliharaan. *Dashboard* aplikasi *smartphone* menampilkan data dalam bentuk grafik dan notifikasi alert jika terjadi deviasi parameter operasional. Fitur data logging memungkinkan analisis historis untuk optimasi proses.

3.6. Analisis Perbandingan dengan Sistem Konvensional

Tabel 4. Perbandingan Kinerja TFEPMRM vs Konvensional

| Parameter | Konvensional | TFEPMRM | Peningkatan |
|-----------------------------|--------------|-----------|-------------|
| Biaya Penggilingan (Rp/kg) | 350 | 250 | 28.6% |
| Biaya Transportasi (Rp/ton) | 175,000 | 0 | 100% |
| Waktu Tunggu (hari) | 3-5 | 0 | 100% |
| Losses (%) | 15-20 | 5-7 | 60-70% |
| Broken Rice (%) | 12-15 | 8-10 | 25-35% |
| Milling Recovery (%) | 65-68 | 83.6-87.4 | 25-30% |

Analisis ekonomi menunjukkan penghematan biaya operasional signifikan. Untuk produksi 1 ton gabah, sistem konvensional memerlukan biaya penggilingan Rp 350.000 dan biaya transportasi Rp 175.000 dengan total Rp 525.000. Sementara sistem TFEPMRM hanya memerlukan biaya bahan bakar Rp 8.125, biaya operasional Rp 50.000, dan biaya pemeliharaan Rp 25.000 dengan total Rp 83.125. Penghematan yang dicapai adalah Rp 441.875 per ton atau 84.2%.

3.7. Dampak terhadap Pendapatan Petani

Analisis dampak ekonomi terhadap pendapatan petani dilakukan dengan asumsi kondisi operasional standar yang representatif untuk wilayah Desa Tamangede. Dengan asumsi petani memiliki lahan 1 hektar dengan produktivitas 5.2 ton gabah kering giling per hektar per musim tanam dan 2 kali musim tanam per tahun (padi dan palawija), penghematan biaya operasional penggilingan per tahun mencapai $5.2 \text{ ton} \times 2 \text{ musim} \times \text{Rp } 441.875 = \text{Rp } 4.595.500$. Selain penghematan biaya, peningkatan kualitas hasil penggilingan yang ditunjukkan oleh rendahnya broken rice (8-10%) dan tingginya *milling recovery* (83.6-87.4%) menghasilkan nilai jual yang lebih tinggi dengan estimasi premium 10% dibandingkan beras hasil penggilingan konvensional, yang menghasilkan tambahan pendapatan sekitar Rp 832.000 per tahun per hektar. Total peningkatan pendapatan potensial yang dapat dicapai mencapai Rp 5.427.500 per tahun per hektar, yang merupakan peningkatan signifikan sekitar 129% dari keuntungan bersih awal sebesar Rp 4.200.000 per hektar per musim.

3.8. Analisis Break-Even Point

Biaya investasi awal untuk pembuatan mesin TFEPMRM termasuk sistem IoT terintegrasi adalah Rp 45.000.000, yang mencakup biaya material, fabrikasi, komponen elektronik, dan instalasi lengkap. Dengan penghematan tahunan Rp 4.595.500 untuk satu petani individu, periode pengembalian investasi (*payback period*) untuk kepemilikan individual akan memerlukan waktu sekitar 9.8 tahun, yang relatif panjang dan kurang *feasible* untuk petani skala kecil. Namun, jika mesin digunakan secara kolektif oleh 10 petani anggota kelompok tani dengan sistem bagi hasil atau iuran operasional yang adil, total penghematan kelompok mencapai Rp 45.955.000 per tahun. Dengan model kepemilikan kolektif ini, *break-even point* dapat dicapai dalam waktu kurang dari 1 tahun (11.7 bulan), menunjukkan kelayakan ekonomis teknologi yang sangat tinggi untuk implementasi di tingkat kelompok tani. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa bahkan dengan asumsi konservatif (produktivitas 4.5 ton/ha, 8 petani pengguna), *payback period* tetap di bawah 1.5 tahun, mengkonfirmasi *robustness* model bisnis kepemilikan kolektif.

3.9. Kendala dan Solusi Implementasi

Beberapa kendala operasional dan teknis yang dihadapi selama implementasi program pengabdian masyarakat ini telah diidentifikasi dan diatasi melalui pendekatan kolaboratif dengan kelompok tani. Kendala pertama adalah adaptasi teknologi, dimana petani yang sebagian besar berusia di atas 40 tahun dan memiliki tingkat pendidikan formal rendah memerlukan waktu adaptasi 2-3 minggu untuk terbiasa dengan operasional mesin yang lebih kompleks dibandingkan sistem konvensional. Solusi yang diterapkan adalah pendampingan intensif dengan rasio 1 pendamping untuk 5 petani selama periode pelatihan awal, penyediaan manual operasional bergambar dengan bahasa sederhana dan menggunakan istilah lokal, serta pembuatan video tutorial step-by-step dalam bahasa Jawa yang dapat diakses melalui smartphone untuk pembelajaran mandiri. Kendala kedua adalah pemeliharaan sistem IoT yang

terkendala oleh koneksi internet yang tidak stabil di area pedesaan, dengan frekuensi gangguan mencapai 3-5 kali per minggu terutama pada musim hujan. Solusi yang diimplementasikan adalah desain sistem dengan kemampuan operasi offline penuh, dimana data monitoring disimpan secara lokal pada SD card berkapasitas 32 GB yang mampu menyimpan data operasional hingga 6 bulan, dan dilengkapi dengan fitur *automatic synchronization* yang akan mengirim data ke *cloud server* secara otomatis ketika koneksi internet tersedia kembali. Kendala ketiga adalah ketersediaan suku cadang, dimana beberapa komponen khusus seperti *rubber roller*, *bearing* presisi, dan sensor elektronik sulit didapat di pasar lokal Kendal dan memerlukan pengadaan dari Semarang atau Jakarta dengan lead time 1-2 minggu. Solusi yang diterapkan adalah pembentukan kemitraan jangka panjang dengan supplier terpercaya di Semarang, penyediaan stok suku cadang kritikal untuk kebutuhan 6 bulan di gudang kelompok tani, dan pelatihan basic maintenance kepada 3 anggota kelompok tani untuk melakukan penggantian komponen standar secara mandiri tanpa harus menunggu teknisi eksternal.

KESIMPULAN

Implementasi teknologi Triple Function Electrical Portable Mini Rice Milling (TFEPMRM) berbasis IoT di Desa Tamangede berhasil meningkatkan efisiensi pengolahan pasca panen padi secara signifikan dengan hasil yang terukur dan terverifikasi selama periode monitoring 3 bulan. Teknologi ini mengintegrasikan proses dehusking, polishing, dan separation dalam satu unit portable berukuran compact ($150 \times 80 \times 120$ cm) dengan kapasitas 80 kg per 6 menit atau setara 800 kg per jam, menghasilkan efisiensi dehusking 95.3%, milling recovery 83.6-87.4%, dan head rice yield 55-65% yang memenuhi standar kualitas industri. Keunggulan utama teknologi ini adalah pengurangan biaya operasional yang dramatis hingga 84.2% dibandingkan sistem konvensional melalui eliminasi biaya transportasi dan pengurangan biaya penggilingan, minimalisasi losses dari 15-20% menjadi hanya 5-7% yang berdampak langsung pada peningkatan nilai ekonomis hasil panen, dan eliminasi total waktu tunggu 3-5 hari yang sebelumnya berpotensi menurunkan kualitas gabah. Sistem monitoring berbasis IoT yang terintegrasi memungkinkan kontrol kualitas real-time melalui aplikasi smartphone dengan parameter monitoring yang komprehensif, data logging otomatis untuk analisis historis dan optimasi proses berkelanjutan, serta early warning system yang memberikan alert ketika terjadi deviasi parameter operasional dari rentang optimal. Analisis ekonomi menunjukkan kelayakan investasi yang sangat tinggi dengan break-even point kurang dari 1 tahun untuk model kepemilikan kolektif oleh 10 petani, mengkonfirmasi viabilitas teknologi ini sebagai solusi ekonomis untuk skala kelompok tani. Potensi peningkatan pendapatan petani mencapai Rp 5.427.500 per tahun per hektar melalui kombinasi penghematan biaya operasional dan peningkatan nilai jual produk akibat kualitas yang lebih baik, yang setara dengan peningkatan 129% dari keuntungan bersih baseline. Teknologi ini terbukti efektif sebagai solusi tepat guna untuk meningkatkan kesejahteraan petani melalui peningkatan efisiensi teknis dan nilai tambah produk pertanian yang sustainable. Untuk memastikan keberlanjutan program, beberapa aspek kritikal memerlukan perhatian berkelanjutan termasuk pendampingan teknis berkelanjutan

minimal selama 6 bulan pasca implementasi untuk memastikan adopsi teknologi yang optimal, pelatihan pemeliharaan preventif dan corrective secara berkala setiap 3 bulan untuk menjaga reliability mesin, dan pengembangan kemitraan strategis dengan supplier untuk ketersediaan suku cadang dan dukungan teknis jangka panjang. Replikasi program ke desa-desa lain dengan karakteristik serupa di wilayah Kabupaten Kendal dan Jawa Tengah sangat direkomendasikan untuk memperluas dampak positif teknologi ini, dengan adaptasi spesifikasi teknis sesuai kondisi lokal masing-masing wilayah.

Rencana pengembangan PKM lanjutan yang diusulkan meliputi beberapa aspek strategis untuk meningkatkan dampak dan cakupan program. Pertama, pengembangan sistem IoT yang lebih *advanced* dengan integrasi teknologi *artificial intelligence* (AI) dan *machine learning* untuk *predictive maintenance* yang dapat memprediksi kebutuhan pemeliharaan sebelum terjadi *breakdown*, serta *optimization algorithm* yang dapat secara otomatis menyesuaikan parameter operasional berdasarkan karakteristik gabah input untuk menghasilkan kualitas output yang konsisten optimal. Kedua, ekspansi program ke 5 desa lain di Kabupaten Kendal dengan total target 50 kelompok tani dalam periode 2026-2027, yang akan menciptakan *network of technology users* untuk *knowledge sharing* dan *collective problem solving*. Ketiga, pengembangan model bisnis sosial enterprise berbasis kelompok tani dimana mesin TFEPMRM dapat dioperasikan sebagai custom milling service untuk petani non-anggota dengan sistem tarif yang kompetitif, menciptakan *additional revenue stream* untuk *sustainability* dana operasional dan pemeliharaan. Keempat, integrasi dengan program hilirisasi produk beras menjadi produk olahan bernilai tambah tinggi seperti tepung beras, beras organik premium, dan produk *functional food* berbasis beras untuk membuka pasar baru dengan margin profit yang lebih besar. Kelima, pengembangan *partnership* dengan institusi keuangan untuk skema pembiayaan yang lebih *accessible* bagi kelompok tani yang ingin mengadopsi teknologi serupa, serta dengan pemerintah daerah untuk integrasi program ini dalam roadmap pengembangan pertanian berkelanjutan di tingkat kabupaten dan provinsi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas pendanaan melalui Program Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2025 dengan nomor kontrak 014/LL6/PM/AL.04/2025. Terima kasih juga disampaikan kepada kelompok tani Desa Tamangede dan Pemerintah Desa Tamangede atas partisipasi aktif dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat ini.

REFERENSI

- Bank, I. R. K. (2023). Modern rice milling. <http://www.knowledgebank.irri.org>
- Borah, B., & Prasad, K. (1993). Energy consumption pattern in rice milling industries. *Journal of Food Science and Technology*, 30(4), 262–267.

- Gummert, M., Nguyen, A. H., & Rickman, J. (2020). Rice milling: Economic efficiency and quality improvement in Asia. In *Rice Processing: Technology and Business Models*. World Scientific. <https://doi.org/10.1142/11354>
- Kumar, A., & Patel, A. (2014). A review on activities of fifth generation mobile communication system. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(4), 8201–8206. <https://doi.org/10.15662/ijareeie.2014.0304062>
- Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., & al., et. (2020). Effects of polishing conditions on physicochemical properties of rice flour. *Food Research International*, 131, 109035. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109035>
- Mukhopadhyay, S., & Siebenmorgen, T. J. (2017). Effect of degree of milling on rice starch properties. *Cereal Chemistry*, 94(2), 225–232. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-06-16-0163-R>
- Nguyen, V. T., Nguyen, M. H., Nguyen, T. T. H., Nguyen, H., & Gummert, F. (2018). Rice milling technology and enhancement opportunities for Vietnam. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11(4), 200–213. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.08.001>
- Olatunde, G. A., & Atungulu, G. G. (2018). Impact of degree of milling on rice nutritional and physicochemical properties. *Cereal Chemistry*, 95(3), 435–447. <https://doi.org/10.1002/cche.10051>
- Sarda, J. K. (1966). Energy requirements in rice milling operations. *Agricultural Engineering*, 47(12), 680–683.
- Sardi, J. (2019). Analisis efisiensi dan kualitas penggilingan padi skala kecil di Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 20(1), 45–56. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2019.020.01.5>
- Shamshiri, R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., Ahmad, D., & Shad, Z. M. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1–22. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3089>
- Sirisoontarak, P., & Keatikasemchai, S. (2020). Development of lightly milled black rice with easy cooking and retaining health benefits. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 3762–3771. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04408-9>
- Sucipto, S., Dewi, E. K., Resti, N. C., & Santi, I. H. (2020). Improving The Performance of Alumni Achievement Assessment by Integrating Website-Based Tracer Study Information Systems and Telegram API. *TEKNIK*, 41(1), 72–77. <https://doi.org/10.14710/teknik.v41i1.25307>