

Sosialisasi energi listrik alternatif dari limbah panas buangan menggunakan Teknologi Thermoelectric Generator (TEG)

Sri Jumini¹, Insan Mahmud², Adi Suwondo³, Mukhmad Fauzi¹, Faza Saifulloh⁴, Mila Ariyani¹, Muchamad Aldifa Ramadhani⁴, Zahrotul Faidah¹

¹Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Sains Al-Qur'an, Indonesia

²Program Studi Ilmu Politik, Fakultas Komunikasi dan Sosial Politik, Universitas Sains Al-Qur'an, Indonesia

³Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an, Indonesia

⁴Program Studi, Pendidikan Agama Islam, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Sains Al-Qur'an, Indonesia

Penulis korespondensi : Sri Jumini

E-mail : srijumini@unsiq.ac.id

Diterima: 11 Oktober 2025 | Disetujui: 30 November 2025 | Online: 30 November 2025

© Penulis 2025

Abstrak

Permasalahan rendahnya pemanfaatan energi panas buangan pada kegiatan pertanian masih menjadi kendala bagi petani di Desa Patakbanteng, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Hal ini berdampak pada keterbatasan akses energi alternatif di tingkat rumah tangga. Kegiatan pengabdian ini bertujuan memberikan solusi melalui pelatihan dan penerapan teknologi Thermoelectric Generator (TEG) pada kelompok tani. Mitra sasaran adalah Kelompok Tani Lestari dengan jumlah peserta aktif sebanyak 25 orang. Metode yang digunakan meliputi sosialisasi, pelatihan pembuatan dan penerapan TEG, praktik langsung, serta pendampingan berkelanjutan. Evaluasi dilakukan melalui pre-test, post-test, dan wawancara untuk menilai peningkatan pengetahuan, keterampilan, serta manfaat yang dirasakan. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan pemahaman peserta setelah mengikuti pelatihan. Nilai rata-rata pre-test 62,06 meningkat menjadi 79,84 pada rata-rata post-test. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan sebesar 17,78 poin. Peserta menyatakan bahwa teknologi ini mudah diterapkan, membantu mengurangi pemborosan energi, serta memiliki potensi replikasi pada skala rumah tangga lain. Dengan demikian, kegiatan ini berhasil memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan efisiensi energi di sektor pertanian dan membuka peluang pengembangan teknologi sederhana berbasis sumber daya lokal.

Kata kunci: pengabdian; energi alternatif; thermoelectric generator; efisiensi energi; kelompok tani.

Abstract

The problem of low utilization of waste heat energy in agricultural activities remains an obstacle for farmers in Patakbanteng Village, Kejajar District, Wonosobo Regency. This has an impact on limited access to alternative energy at the household level. This community service activity aims to provide solutions through training and application of Thermoelectric Generator (TEG) technology to farmer groups. The target partner is the Lestari Farmers Group with 25 active participants. The methods used include socialization, training in the manufacture and application of TEG, direct practice, and ongoing mentoring. Evaluation was carried out through pre-tests, post-tests, and interviews to assess the increase in knowledge, skills, and perceived benefits. The results showed an increase in participants' understanding after the training. The average pre-test score of 62.06 increased to 79.84 on the post-test, representing a 17.78 point increase. Participants stated that this technology is easy to apply, helps reduce energy waste, and has the potential for replication at other household scales. Thus, this activity has succeeded in making a real contribution to increasing energy efficiency in the agricultural sector and opening up opportunities for the development of simple technologies based on local resources.

Keywords: devotion; alternative energy; thermoelectric generator; energy efficiency; farmer groups.

PENDAHULUAN

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM, 2023), pengembangan energi alternatif melalui pemanfaatan sumber energi terbuang merupakan salah satu strategi penting dalam meningkatkan efisiensi energi dan mendukung transisi menuju sistem energi berkelanjutan (Dewi, 2023). Konsep ini menjadi relevan dengan kondisi Desa Patakbanteng, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo, yang terletak di wilayah dataran tinggi dengan suhu udara relatif rendah sepanjang tahun. Kondisi ini membuat masyarakat sangat bergantung pada alat pemanas ruangan, terutama pada malam hari atau saat musim hujan (Vernando et al., 2023; Sukowiyono & Susanti, 2018). Alat pemanas tersebut umumnya menggunakan bahan bakar LPG atau kayu bakar sebagai sumber energi panas. Kehadiran alat ini tentu membantu menjaga kenyamanan warga, namun penggunaannya masih belum optimal. Energi panas yang dihasilkan lebih banyak disebarkan ke udara secara bebas, tanpa termanfaatkan secara penuh. Panas buangan ini pada akhirnya hilang tanpa nilai tambah. Hal ini menjadi salah satu permasalahan mendasar yang dapat dicarikan solusi melalui penerapan teknologi sederhana dan tepat guna.

Kondisi tersebut mendorong Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Sains Al-Qur'an (BEM U UNSIQ) untuk menginisiasi program pengabdian berbasis inovasi teknologi. Inovasi teknologi merupakan upaya pengembangan dan penerapan pengetahuan baru untuk menciptakan solusi yang lebih efisien, praktis, dan berkelanjutan (Jumini, et al., 2022). Program ini berfokus pada pemanfaatan panas buangan yang selama ini terabaikan agar bisa diubah menjadi energi listrik alternatif. Teknologi yang diperkenalkan adalah TEG yang bekerja berdasarkan prinsip efek Seebeck (Arruafy et al., 2024; Saputra et al., 2023; Umam et al., 2017). Alat ini mengubah perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin modul menjadi energi listrik (Rimbawati et al., 2022; Kurniawan et al., 2020). Penerapan teknologi ini relatif sederhana karena modul TEG dapat dipasang pada bagian luar pemanas dengan sisi lain tetap dijaga suhunya melalui udara atau pendingin pasif (Digdoyo et al., 2021). Dengan pendekatan ini, energi panas yang biasanya terbuang dapat dialihkan untuk kebutuhan lain yang lebih bermanfaat.

Energi listrik yang dihasilkan dari TEG dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan sederhana dalam rumah tangga (Muharnif et al., 2022; Jayanegara et al., 2023). Masyarakat bisa memanfaatkannya untuk mengisi baterai telepon seluler, menyalakan lampu LED, atau memberi daya pada perangkat elektronik kecil lainnya. Hal ini menjadi solusi praktis, khususnya bagi masyarakat di wilayah pedesaan yang akses listriknya terbatas atau biaya listriknya cukup tinggi. Dengan kata lain, teknologi ini bukan sekadar inovasi akademik, tetapi memberikan manfaat langsung yang dapat dirasakan warga (Chintya & Siagian, 2024; Endahwati & Sutiyono, 2023). Selain itu, pemanfaatan panas buangan ini juga dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang selama ini mendominasi kebutuhan energi rumah tangga. Secara jangka panjang, keberadaan TEG dapat mendukung terciptanya energi yang lebih berkelanjutan di desa.

Penggunaan TEG di Desa Patakbanteng memberikan solusi teknis dan menyentuh aspek sosial-ekonomi masyarakat. Melalui kegiatan sosialisasi, pelatihan, dan pendampingan, masyarakat diajak untuk mengenal dan memahami cara kerja teknologi ini secara langsung (Jumini et al., 2024). Pendekatan partisipatif tersebut membuat masyarakat bukan sekadar pengguna, tetapi juga berperan dalam proses perakitan dan pemeliharaan alat. Keterlibatan aktif dapat meningkatkan rasa memiliki dan tanggung jawab warga terhadap keberlangsungan program (Nuryana et al., 2025). Selain itu, kegiatan ini berpotensi membuka peluang ekonomi baru bagi warga desa, misalnya melalui produksi atau perakitan alat sederhana yang bisa dipasarkan secara lokal. Dampaknya, masyarakat tidak hanya memperoleh manfaat energi, tetapi juga tambahan pengetahuan dan keterampilan.

Sebagai desa yang tengah berkembang menuju desa agrowisata, Patakbanteng memiliki potensi besar untuk mengintegrasikan aspek ramah lingkungan dalam setiap kegiatan warganya. Pemanfaatan teknologi TEG sejalan dengan semangat pengembangan desa yang berorientasi pada keberlanjutan.

Panas buangan dari aktivitas harian, seperti pemanas ruangan atau tungku biomassa, dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang bersih (Simanjuntak, 2023). Hal ini akan meningkatkan citra desa sebagai kawasan yang peduli terhadap isu lingkungan sekaligus inovatif dalam mengelola sumber daya (Firmansah & Muzekki, 2025). Konsep agrowisata yang ramah lingkungan akan semakin kuat jika didukung dengan teknologi tepat guna yang diterapkan secara nyata di kehidupan masyarakat. Dengan demikian, program ini mendukung desa agar memiliki keunggulan kompetitif sekaligus berdaya saing.

Dalam pelaksanaan program, kelompok tani menjadi salah satu target utama penerima manfaat. Sebagian besar masyarakat Patakbanteng bekerja di sektor pertanian yang aktivitasnya banyak menggunakan energi dalam bentuk panas maupun listrik. Melalui pelatihan yang diberikan, kelompok tani akan diperkenalkan pada cara memanfaatkan panas buangan dari tungku biomassa atau pemanas tradisional. Teknologi TEG akan dipraktikkan secara langsung sehingga petani dapat memahami fungsi dan aplikasinya. Selain itu, pendampingan teknis juga diberikan untuk membantu mereka merakit, merawat, serta mengembangkan alat ini agar dapat digunakan secara berkelanjutan. Dengan keterampilan tersebut, petani dapat memanfaatkan energi tambahan untuk mendukung kegiatan produktif di luar musim tanam.

Menurut Kartika et al. (2021), pendekatan berbasis praktik langsung (*learning by doing*) terbukti lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman dan keterampilan peserta dibandingkan metode ceramah. Demonstrasi langsung mengenai penggunaan TEG menjadi cara utama dalam memperlihatkan potensi teknologi ini. Peserta juga diajak melakukan simulasi sehingga dapat mencoba secara mandiri dan merasakan manfaatnya. Selain itu, pembuatan dokumentasi teknis sederhana disiapkan untuk memudahkan masyarakat ketika ingin mereplikasi teknologi ini di rumah masing-masing. Pentingnya penyediaan panduan tertulis sebagai media pendukung keberlanjutan program pengabdian (Sopyan et al., 2025). Strategi ini bertujuan agar program tidak hanya selesai pada tahap sosialisasi, tetapi juga berkelanjutan dan mampu berkembang secara mandiri. Dengan demikian, masyarakat memiliki pedoman tertulis yang bisa dijadikan acuan praktis sehari-hari.

Secara keseluruhan, program sosialisasi energi listrik alternatif dari limbah panas buangan dengan teknologi TEG merupakan langkah konkret dalam menjawab kebutuhan masyarakat Desa Patakbanteng. Program ini mengintegrasikan aspek teknologi, pendidikan, dan pemberdayaan masyarakat secara bersamaan. Dampak yang diharapkan tidak hanya pada peningkatan efisiensi energi, tetapi juga penguatan ketahanan energi desa serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia lokal. Kehadiran teknologi ini dapat menjadi model penerapan energi terbarukan yang sederhana, murah, dan aplikatif di tingkat pedesaan. Lebih jauh lagi, inovasi ini menjadi wujud kontribusi nyata perguruan tinggi dalam membantu masyarakat desa mengatasi tantangan energi. Sinergi antara mahasiswa, masyarakat, dan pemerintah desa diharapkan dapat menjadikan Patakbanteng sebagai contoh desa inovatif dan mandiri energi.

METODE

Metode pelatihan dilakukan dengan pendekatan praktis agar lebih mudah dipahami oleh masyarakat desa (Ardli, 2024). Tahap awal pelaksanaan program diawali dengan kegiatan sosialisasi yang dilaksanakan pada bulan pertama. Sosialisasi ini bertujuan memperkenalkan konsep dasar TEG beserta manfaatnya kepada kelompok tani sebagai mitra program. Pada kegiatan ini, peserta mendapatkan penjelasan mengenai pengertian TEG, potensi penerapan di lingkungan rumah tangga maupun pertanian, serta keuntungan pemanfaatan panas buangan untuk efisiensi energi. Selain itu, tim pelaksana juga menyampaikan rencana jadwal dan tahapan kegiatan yang akan dilakukan selama program berlangsung. Proses sosialisasi dikemas dalam bentuk presentasi, diskusi interaktif, serta sesi tanya jawab agar peserta lebih memahami materi yang diberikan. Kegiatan ini diikuti oleh 25 anggota aktif Kelompok Tani Lestari yang menjadi sasaran utama program pengabdian.

Setelah kegiatan sosialisasi, tahap selanjutnya adalah pelatihan pembuatan dan penerapan TEG yang dilaksanakan secara intensif selama satu bulan. Pelatihan ini dibagi menjadi empat pertemuan, masing-masing dilakukan sekali setiap minggu, dengan tujuan agar peserta dapat memahami dan

mempraktikkan materi secara bertahap. Materi yang diberikan mencakup prinsip kerja TEG, rancangan bangun alat termasuk skema dan bahan yang digunakan, proses perakitan, serta cara penggunaan dan pemeliharaan agar alat dapat berfungsi secara optimal. Seluruh kegiatan dilaksanakan dengan pendekatan praktik langsung, sehingga peserta tidak hanya menerima teori tetapi juga terlibat aktif dalam perakitan alat. Dengan metode ini, diharapkan setiap peserta mampu merakit satu unit TEG secara mandiri yang nantinya dapat digunakan di rumah masing-masing. Hasil pelatihan ini sekaligus menjadi bekal keterampilan baru yang dapat dikembangkan lebih lanjut oleh masyarakat desa. Adapun penerapan teknologi di lapangan, meliputi:

1. Lokasi penerapan yaitu rumah anggota kelompok tani, rumah kaca, atau gudang penyimpanan hasil pertanian.
2. Pemanfaatan TEG dipasang pada tungku biomassa atau kompor gas, kemudian listrik yang dihasilkan digunakan untuk menyalakan lampu LED atau mengisi daya perangkat kecil (HP, baterai portable).
3. Jumlah minimal 5 unit TEG diterapkan secara bertahap.
4. Evaluasi awal dilakukan setelah 2 minggu penggunaan untuk menilai efektivitas alat.

Pendampingan dan evaluasi dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Pendampingan dilakukan setiap minggu selama 2 bulan untuk memastikan alat berfungsi optimal, memperbaiki kerusakan ringan, dan melatih anggota lain yang belum ikut pelatihan.
2. Evaluasi dilakukan melalui:
 - Pre-test untuk mengukur pemahaman peserta sebelum sosialisasi dan pelatihan.
 - Post-test untuk mengukur peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta setelah pelatihan.
 - Wawancara langsung untuk menggali pengalaman, kendala, kemudahan penggunaan, serta manfaat TEG menurut peserta.

Adapun keberlanjutan program, meliputi:

1. Dibentuk tim teknis lokal dari anggota kelompok tani untuk merawat dan mengembangkan TEG.
2. Disediakan manual penggunaan dan perakitan dalam bentuk cetak dan digital agar teknologi dapat direplikasi secara mandiri.
3. Diupayakan kerja sama dengan Dinas Pertanian atau instansi terkait guna mendukung pendanaan lanjutan dan replikasi program ke desa lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian ini melibatkan Kelompok Tani Lestari di Desa Patakbanteng, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Kelompok ini terdiri dari 25 anggota aktif yang sebagian besar berprofesi sebagai petani hortikultura di dataran tinggi. Kondisi geografis desa yang dingin membuat alat pemanas ruangan menjadi kebutuhan penting, terutama saat musim hujan. Namun, penggunaan tungku biomassa dan kompor gas selama ini kurang efisien karena panas yang dihasilkan banyak terbuang ke udara tanpa dimanfaatkan. Permasalahan ini menimbulkan kebutuhan akan teknologi yang mampu mengoptimalkan energi panas tersebut.

Pelaksanaan Kegiatan

Tahapan kegiatan dimulai dengan sosialisasi yang memperkenalkan konsep TEG beserta manfaatnya. Sosialisasi dilakukan secara interaktif melalui presentasi atau penyampaian materi, diskusi, dan tanya jawab.

Penyampaian Materi

Kegiatan penyampaian materi dilaksanakan di Balai Desa Patakbanteng dan diikuti oleh 25 anggota aktif Kelompok Tani Lestari. Sesi ini dipandu oleh tim pengabdian dari BEM Universitas Sains Al-Qur'an (UNSIQ) dengan pendekatan edukatif dan partisipatif. Pada tahap ini, peserta diperkenalkan

Sosialisasi energi listrik alternatif dari limbah panas buangan menggunakan Teknologi Thermoelectric Generator (TEG)

dengan konsep dasar TEG, yaitu perangkat yang mampu mengubah perbedaan suhu menjadi energi listrik melalui prinsip efek Seebeck. Penjelasan diberikan menggunakan media presentasi sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Sesi penyampaian materi

Materi utama yang disampaikan mencakup pengertian TEG, potensi penerapan di lingkungan pedesaan, serta keuntungan penggunaan panas buangan untuk efisiensi energi. Peserta dijelaskan bahwa TEG dapat dipasang pada sumber panas seperti tungku biomassa, kompor gas, atau pemanas ruangan untuk menghasilkan listrik tambahan tanpa mengganggu fungsi utama alat tersebut. Dalam konteks Desa Patakbanteng yang memiliki suhu rendah dan banyak menggunakan alat pemanas, teknologi ini dinilai sangat relevan. Selain itu, dijelaskan pula bahwa pemanfaatan panas buangan membantu meningkatkan efisiensi energi karena panas yang biasanya hilang ke udara kini dapat dikonversi menjadi energi listrik yang berguna untuk kebutuhan penerangan dan pengisian daya kecil.

Materi mengenai TEG tidak hanya berhenti pada pengenalan konsep dasarnya, tetapi juga menekankan prinsip kerja yang melandasinya. Peserta pelatihan dijelaskan bahwa TEG bekerja berdasarkan efek Seebeck, yaitu fenomena ketika perbedaan suhu antara dua sisi bahan semikonduktor dapat menghasilkan arus listrik. Dengan cara ini, panas yang biasanya terbuang dapat diubah menjadi energi listrik tanpa memerlukan komponen bergerak seperti turbin atau generator konvensional. Materi ini menekankan keunggulan TEG yang ramah lingkungan, minim perawatan, serta dapat bekerja secara terus-menerus selama ada perbedaan suhu. Dalam sesi penyampaian materi, narasumber juga memberikan contoh penerapan TEG pada sistem rumah tangga sederhana, seperti digunakan untuk mengisi daya ponsel dari sumber panas tungku. Penjelasan yang disertai dengan gambar dan simulasi visual membantu peserta memahami bagaimana aliran panas dapat dikonversi menjadi energi listrik secara efisien dan berkelanjutan.

Selain itu, dalam pembahasan mengenai potensi penerapan TEG di Desa Patakbanteng, peserta diajak untuk melihat kondisi nyata di lapangan. Desa ini memiliki karakteristik suhu lingkungan yang cukup rendah dan aktivitas rumah tangga yang banyak melibatkan sumber panas, seperti penggunaan tungku biomassa untuk memasak dan penghangat ruangan di pagi hari. Dengan kondisi tersebut, penerapan TEG dianggap sangat potensial untuk meningkatkan kemandirian energi masyarakat desa. Peserta diajak untuk menghitung secara sederhana berapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan dari panas buangan tungku yang selama ini tidak termanfaatkan. Keuntungan lain yang dijelaskan adalah peningkatan efisiensi energi serta pengurangan ketergantungan terhadap sumber listrik konvensional, terutama saat terjadi pemadaman. Dengan demikian, pelatihan ini menambah wawasan peserta tentang teknologi energi alternatif dan menumbuhkan kesadaran bahwa sumber daya lokal yang selama ini dianggap limbah panas ternyata bisa dimanfaatkan untuk mendukung kehidupan sehari-hari secara lebih hemat dan berkelanjutan. Melalui penyampaian materi ini, peserta memperoleh pemahaman teoritis mengenai prinsip kerja TEG dan manfaat praktisnya. Mereka mulai memahami bahwa sumber energi alternatif tidak selalu harus berasal dari instalasi besar seperti panel surya atau turbin angin, melainkan bisa berasal dari potensi lokal yang sederhana namun sering terabaikan. Tahap ini menjadi fondasi penting sebelum peserta terlibat langsung dalam praktik perakitan dan penerapan teknologi.

Diskusi dan Tanya Jawab

Setelah sesi penyampaian materi, kegiatan dilanjutkan dengan diskusi interaktif dan tanya jawab antara peserta dan tim pengabdian. Sesi ini bertujuan memperdalam pemahaman peserta terhadap penerapan teknologi TEG sesuai dengan kondisi dan kebutuhan mereka di lapangan. Peserta diberikan kesempatan untuk mengajukan berbagai pertanyaan, mulai dari hal teknis seperti bahan yang digunakan, cara merakit, hingga potensi penggunaan alat pada aktivitas pertanian dan rumah tangga. Keaktifan peserta dan pemateri pada sesi diskusi dan tanya jawab ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Sesi diskusi dan tanya jawab

Dalam diskusi ini, muncul berbagai ide dan pengalaman lapangan yang memperkaya proses pelatihan. Beberapa petani mengemukakan bahwa panas dari tungku pengering hasil pertanian sering kali sangat tinggi namun tidak dimanfaatkan, sehingga berpotensi besar untuk diubah menjadi listrik. Tim pengabdian kemudian memberikan penjelasan teknis mengenai cara menjaga perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin pada modul TEG agar efisiensi konversi energi tetap optimal. Selain itu, dibahas pula aspek keamanan penggunaan, seperti pemilihan bahan tahan panas dan pengaturan posisi alat agar tidak mengganggu fungsi utama tungku.

Sesi tanya jawab ini berfungsi sebagai klarifikasi sekaligus membangun rasa kepemilikan dan keingintahuan masyarakat terhadap inovasi teknologi. Munculnya kreativitas dan inovasi berawal dari rasa ingin tahu yang mendorong seseorang untuk mengeksplorasi, menemukan, dan menciptakan hal-hal baru yang lebih bermanfaat (Jumini et al., 2023). Melalui komunikasi dua arah ini, peserta menjadi lebih percaya diri untuk mencoba menerapkan TEG di rumah masing-masing. Tim pengabdian juga mencatat berbagai masukan dari peserta sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan alat agar lebih sesuai dengan kondisi lokal. Dengan demikian, sesi diskusi dan tanya jawab menjadi langkah penting dalam memastikan bahwa pengetahuan yang diperoleh tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga aplikatif dan kontekstual dengan kehidupan masyarakat Desa Patakbanteng.

Pendampingan

Pendampingan difokuskan pada penguatan pemahaman materi yang telah disampaikan saat pelatihan sebelumnya. Kegiatan ini dilaksanakan di Balai Desa Patakbanteng dan diikuti oleh seluruh anggota Kelompok Tani Lestari. Tujuannya adalah memastikan bahwa setiap peserta benar-benar memahami konsep dasar dan prinsip kerja Thermoelectric Generator (TEG) sebelum diterapkan secara mandiri di lapangan. Tim pengabdian memberikan penjelasan ulang mengenai cara kerja TEG berdasarkan efek Seebeck, yaitu proses konversi perbedaan suhu menjadi energi listrik. Tahap pendampingan oleh tim pengabdian ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Tahap pendampingan

Evaluasi Hasil Pelatihan

Untuk menilai efektivitas kegiatan, dilakukan evaluasi melalui pre-test dan post-test. Hasil menunjukkan adanya peningkatan pengetahuan setelah pelatihan. Pre-test dan post-test dikerjakan menggunakan google form karena semua peserta mempunyai *smartphone*, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.

Gambar 4. Evaluasi pelatihan menggunakan *google form*

Peserta yang awalnya belum memahami prinsip kerja TEG. Wawancara mendalam juga menunjukkan bahwa peserta merasa teknologi ini bermanfaat, mudah diterapkan, dan berpotensi membantu kebutuhan energi rumah tangga. Adapun hasil pre-test dan post test peserta ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pre-test dan post-test peserta

No	Inisial Nama	Pre-test	Post-test
1.	A	50	80
2.	B	55	70
3.	C	80	90
4.	D	65	85
5.	E	55	70
6.	F	55	90
7.	G	80	90
8.	H	85	25
9.	I	60	100
10.	J	80	60
11.	K	50	70
12.	L	80	70
13.	M	60	75
14.	N	80	85
15.	O	80	90
16.	P	85	85

No	Inisial Nama	Pre-test	Post-test
17.	Q	65	100
18.	R	65	55
19.	S	75	75
20.	T	45	75
21.	U	65	100
22.	V	60	95
23.	W	55	75
24.	X	45	75
25.	Y	56	55
26.	Z	55	95
27.	AA	50	100
28.	AB	65	90
29.	AC	70	90
30.	AD	75	95
Jumlah		1986	2555
Rata-rata		62,06	79,84
Nilai minimum		20	25
Nilai maksimum		85	100

Berdasarkan hasil pre-test dan post-test yang disajikan pada Tabel 1, terlihat adanya peningkatan yang signifikan pada kemampuan peserta setelah mengikuti kegiatan pelatihan dan pendampingan mengenai TEG. Nilai rata-rata peserta meningkat dari 62,06 pada saat pre-test menjadi 79,84 pada saat post-test, dengan selisih rata-rata peningkatan sebesar 17,78 poin. Hasil ini menunjukkan bahwa kegiatan pelatihan yang dilakukan mampu meningkatkan pemahaman peserta terhadap konsep dasar TEG, potensi penerapannya di lingkungan pedesaan, serta cara kerja alat dalam mengonversi panas menjadi energi listrik. Nilai minimum peserta juga mengalami peningkatan dari 20 menjadi 25, yang berarti seluruh peserta menunjukkan peningkatan kemampuan, bahkan pada kelompok dengan pemahaman awal paling rendah. Sementara itu, nilai maksimum meningkat dari 85 menjadi 100, menunjukkan bahwa terdapat peserta yang mampu menguasai materi secara penuh setelah pelatihan. Peningkatan skor ini menggambarkan bahwa kegiatan pelatihan dan pendampingan yang disusun secara bertahap dimulai dari penyampaian materi teoritis, diskusi interaktif, hingga simulasi dan pendampingan efektif dalam memperkuat pemahaman serta keterampilan peserta. Hasil peningkatan ini juga memperlihatkan bahwa metode pelatihan berbasis praktik dan diskusi partisipatif mampu mempercepat proses internalisasi konsep teknologi baru pada masyarakat pedesaan (Sonjaya et al., 2025). Peserta menunjukkan antusiasme tinggi dalam memahami fungsi alat serta potensi penerapannya pada sistem pemanfaatan panas buangan dari tungku rumah tangga atau proses pengeringan hasil pertanian. Adapun persentase rentang nilai peserta pada pre-test ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Persentase rentang nilai pre-test

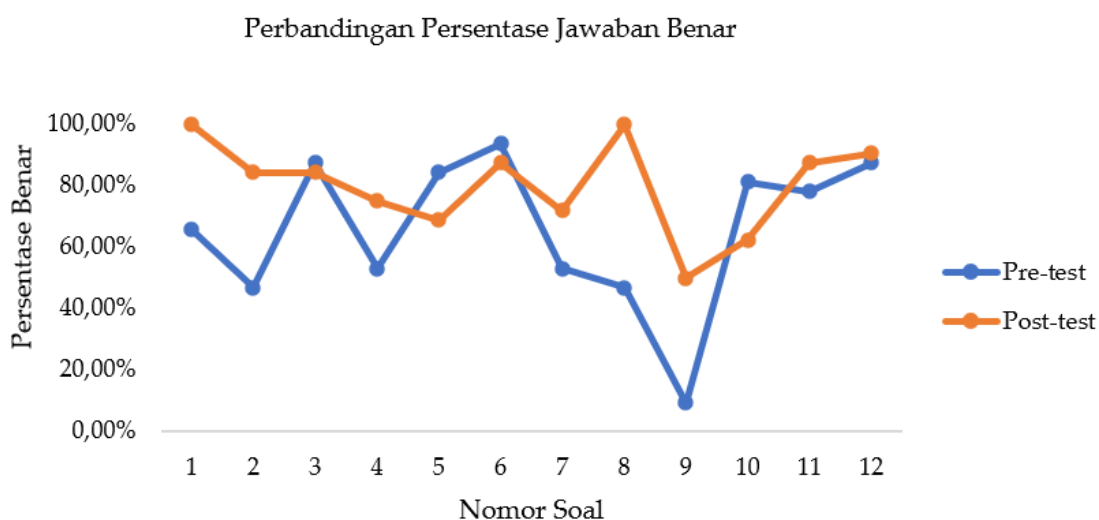
Rentang Nilai	Jumlah Responden	Persentase
20 – 44	2	6,3%
45 – 54	8	25%
55 – 64	9	28,1%
65 – 74	7	21,8%
75 – 84	6	18,8%
85 – 100	0	0%
Total	32	100%

Berdasarkan Tabel 2, hasil pre-test menunjukkan bahwa sebagian besar peserta masih memiliki tingkat pemahaman yang relatif rendah terhadap materi teknologi Thermoelectric Generator (TEG) dan pemanfaatan energi panas buangan. Sebanyak 8 responden (25%) memperoleh nilai pada rentang 45–54, sementara 9 responden (28,1%) berada pada rentang 55–64, yang menunjukkan kemampuan awal peserta masih berada pada kategori cukup. Hanya 6 responden (18,8%) yang memperoleh nilai 75–84, dan tidak ada peserta yang mencapai kategori sangat baik (85–100). Hal ini menunjukkan bahwa sebelum kegiatan pelatihan dilakukan, sebagian besar anggota Kelompok Tani Lestari belum memahami konsep dasar dan penerapan teknologi TEG secara komprehensif. Kondisi ini menjadi dasar penting bagi pelaksanaan sosialisasi dan pelatihan intensif untuk meningkatkan pengetahuan serta keterampilan praktis peserta dalam merakit dan memanfaatkan alat tersebut. Adapun persentase rentang nilai peserta pada post-test ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Persentase rentang nilai post-test

Rentang Nilai	Jumlah Responden	Persentase
25 – 49	2	6,3%
50 – 59	2	6,3%
60 – 69	9	28,1%
70 – 79	6	18,8%
80 – 89	12	37,5%
90 – 100	1	3,1%
Total	32	100%

Setelah pelatihan selesai dilaksanakan, hasil post-test pada Tabel 3 menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap kemampuan peserta. Sebanyak 12 responden (37,5%) berhasil mencapai nilai pada rentang 80–89, sementara 9 responden (28,1%) berada pada rentang 60–69. Hanya 2 peserta (6,3%) yang masih berada pada kategori rendah, dan terdapat 1 responden (3,1%) yang mencapai kategori sangat baik dengan nilai 90–100. Secara keseluruhan, terjadi pergeseran distribusi nilai ke arah kategori lebih tinggi, menandakan peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta dalam memahami prinsip kerja, perakitan, dan penerapan teknologi TEG. Hasil ini membuktikan bahwa kegiatan sosialisasi dan pelatihan yang dilakukan efektif dalam meningkatkan pemahaman teknis serta kesadaran energi alternatif berbasis panas buangan di kalangan petani Desa Patakbanteng. Peningkatan pengetahuan setelah dilakukan sosialisasi dan pelatihan juga dapat dilihat dari perbandingan persentase jawaban benar pada pre-test dan post test yang ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Grafik perbandingan persentase jawaban benar pada pre-test dan post-test

Gambar 5 menunjukkan perbandingan persentase jawaban benar antara hasil pre-test dan post-test peserta pelatihan teknologi TEG. Terlihat adanya peningkatan yang signifikan pada hampir seluruh butir soal setelah peserta mengikuti kegiatan pelatihan. Pada tahap pre-test, beberapa soal masih menunjukkan persentase rendah, seperti soal nomor 2 dan 8 yang masing-masing hanya mencapai 46,8% dan 9,37%, menandakan pemahaman peserta terhadap konsep TEG masih terbatas. Namun setelah dilakukan pelatihan, hasil post-test menunjukkan lonjakan persentase jawaban benar secara merata, dengan beberapa soal bahkan mencapai 100%, seperti pada nomor 1 dan 8. Peningkatan ini menggambarkan bahwa kegiatan pelatihan yang mencakup penyampaian materi dan diskusi interaktif mampu meningkatkan pemahaman peserta terhadap konsep dasar, prinsip kerja, serta potensi penerapan TEG dalam pemanfaatan energi panas buangan untuk efisiensi energi.

Hasil peningkatan tersebut sejalan dengan temuan beberapa penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kegiatan pelatihan berbasis praktik langsung dan kontekstual dapat meningkatkan pemahaman peserta terhadap teknologi terapan. Misalnya, penelitian oleh Suryaman et al. (2024) menyebutkan bahwa pelatihan teknologi energi terbarukan berbasis hands-on learning mampu meningkatkan kemampuan teknis dan kesadaran energi karena 70% telah mendengar tentang energi terbarukan, tetapi 60% belum memahami manfaatnya secara menyeluruh. Selain itu, penelitian Missouri et al (2023) menunjukkan bahwa pendekatan pelatihan dengan contoh penerapan langsung di lingkungan peserta memberikan hasil yang lebih signifikan dibandingkan metode ceramah semata. Hasil pelatihan di Desa Patakbanteng memperkuat temuan tersebut, bahwa pemberian materi yang dikaitkan dengan kondisi lokal, seperti pemanfaatan panas dari tungku biomassa, tidak hanya meningkatkan pengetahuan, tetapi juga menumbuhkan minat masyarakat untuk mencoba teknologi baru secara mandiri. Dengan demikian, hasil ini memperkuat bukti empiris bahwa pelatihan berbasis teknologi sederhana namun aplikatif dapat menjadi solusi efektif dalam meningkatkan literasi energi dan kemandirian masyarakat pedesaan.

Peningkatan hasil post-test ini menunjukkan bahwa penyampaian materi mengenai TEG beserta implementasinya di lingkungan pedesaan efektif dalam meningkatkan pengetahuan peserta. Kegiatan pelatihan berhasil memperluas wawasan peserta tentang konsep dasar, manfaat, dan penerapan teknologi TEG untuk memanfaatkan panas buangan sebagai sumber energi alternatif. Selain itu, hasil ini juga menggambarkan keberhasilan metode pelatihan yang tidak hanya mengandalkan penyampaian teori, tetapi juga memberikan contoh praktis serta sesi diskusi yang mendorong partisipasi aktif peserta. Dengan peningkatan rata-rata nilai sebesar hampir 10 poin, dapat disimpulkan bahwa pelatihan ini memberikan dampak positif terhadap peningkatan literasi energi masyarakat Desa Patakbanteng dan membuka peluang penerapan teknologi TEG secara lebih luas di lingkungan mereka.

Selain melalui tes tertulis, evaluasi keberhasilan program juga dilakukan melalui wawancara langsung dengan peserta pelatihan. Wawancara ini bertujuan menggali pandangan, pengalaman, serta manfaat yang dirasakan setelah mengikuti kegiatan pelatihan dan penerapan teknologi TEG. Pertanyaan mencakup pemahaman terhadap prinsip kerja TEG, kemudahan dalam proses perakitan, serta potensi penerapannya di lingkungan rumah tangga dan pertanian. Berdasarkan hasil wawancara, sebagian besar peserta mengaku memperoleh pengetahuan baru dan termotivasi untuk memanfaatkan panas buangan yang selama ini terabaikan. Salah satu peserta menyampaikan, *"Selama ini panas dari tungku di rumah hanya terbuang percuma, sekarang kami tahu bisa dijadikan listrik untuk charger HP,"* ujar salah satu peserta pelatihan dari anggota Kelompok Tani Lestari. Peserta lain menambahkan bahwa alat TEG mudah digunakan dan tidak membutuhkan perawatan rumit, *"Kami bisa pasang sendiri setelah pelatihan, dan alatnya tetap berfungsi baik,"* tuturnya. Secara keseluruhan, wawancara menunjukkan bahwa kegiatan ini memberikan dampak positif, baik dalam peningkatan pengetahuan maupun perubahan sikap masyarakat terhadap penggunaan energi alternatif.

Capaian Target Program

Program berhasil mencapai target utama, yaitu peningkatan kapasitas kelompok tani dalam memanfaatkan panas buangan sebagai energi alternatif. Lima unit TEG yang terpasang dapat digunakan untuk menyalakan lampu LED dan mengisi daya baterai ponsel. Capaian ini membuktikan

bahwa TEG dapat diterapkan pada skala rumah tangga dengan biaya yang terjangkau. Selain itu, kelompok tani kini memiliki kemampuan teknis untuk mereplikasi teknologi tersebut secara mandiri. Penerapan TEG sejalan dengan prinsip efisiensi energi dan pemanfaatan sumber daya terbarukan. Di desa dengan suhu rendah seperti Patakbanteng, kebutuhan energi untuk pemanas ruangan tinggi, sehingga potensi panas buangan besar. Dengan memanfaatkan panas tersebut, TEG mampu menghasilkan energi listrik tambahan tanpa menambah konsumsi bahan bakar. Hal ini mendukung penghematan energi, mengurangi ketergantungan pada listrik PLN, serta memperkuat ketahanan energi desa. Temuan ini sejalan dengan konsep teknologi tepat guna yang murah, ramah lingkungan, dan sesuai dengan kebutuhan lokal.

Dampak

Kegiatan pengabdian ini memberikan dampak yang signifikan baik secara langsung maupun tidak langsung bagi masyarakat Desa Patakbanteng, khususnya Kelompok Tani Lestari. Dampak langsung yang paling terlihat adalah meningkatnya kemampuan teknis peserta dalam merakit dan mengoperasikan TEG. Peserta yang semula belum mengenal prinsip kerja alat kini mampu memanfaatkan panas buangan dari tungku biomassa atau kompor rumah tangga untuk menghasilkan listrik sederhana. Hal ini membantu masyarakat memenuhi kebutuhan energi ringan, seperti penerangan dan pengisian daya perangkat elektronik tanpa menambah biaya bahan bakar. Selain itu, dampak tidak langsung muncul dalam bentuk perubahan pola pikir masyarakat terhadap pentingnya efisiensi energi dan pemanfaatan sumber daya terbarukan. Program ini menumbuhkan kesadaran bahwa energi alternatif dapat diperoleh dari sumber lokal tanpa harus bergantung sepenuhnya pada listrik dari jaringan utama. Masyarakat juga mulai menaruh minat untuk memodifikasi peralatan rumah tangga mereka agar lebih hemat energi.

Hambatan dan Solusi

Dalam pelaksanaan, ditemukan beberapa hambatan. Hambatan teknis meliputi keterbatasan jumlah modul TEG yang tersedia dan kestabilan panas sumber energi yang belum konsisten. Hambatan non-teknis berupa keterbatasan waktu peserta karena kesibukan bertani. Solusi yang diterapkan adalah pendampingan intensif, pembagian manual sederhana, serta pembentukan tim teknis lokal dari anggota kelompok tani untuk membantu perbaikan alat.

SIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan pengabdian masyarakat di Desa Patakbanteng berhasil meningkatkan pemahaman dan keterampilan peserta, khususnya Kelompok Tani Lestari, dalam pemanfaatan teknologi Thermoelectric Generator (TEG). Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan pengetahuan sebesar 65% dari pre-test ke post-test, serta keberhasilan penerapan lima unit TEG pada tungku biomassa dan kompor rumah tangga. Wawancara peserta menegaskan bahwa teknologi ini dinilai mudah diterapkan, bermanfaat, dan berpotensi mendukung penghematan energi. Temuan ini membuktikan bahwa TEG layak digunakan di tingkat rumah tangga pedesaan dengan potensi replikasi yang lebih luas. Hambatan utama berupa keterbatasan jumlah modul TEG dan ketidakstabilan panas sumber energi masih ditemui. Oleh karena itu, kegiatan lanjutan disarankan untuk menambah unit TEG, memperbaiki desain pendingin, serta mengintegrasikan penyimpanan energi agar hasil lebih stabil. Kolaborasi dengan pemerintah daerah juga penting untuk memperluas penerapan teknologi ini di desa lain sehingga dapat mendorong kemandirian energi secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi yang telah memberikan dukungan pendanaan sehingga program pengabdian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Pemerintah Desa Patakbanteng, Kecamatan Kejajar, Kabupaten

Wonosobo, yang telah memberikan izin, dukungan, serta fasilitas selama pelaksanaan kegiatan berlangsung. Tidak lupa, apresiasi setinggi-tingginya ditujukan kepada Kelompok Tani Lestari selaku mitra program yang telah berpartisipasi aktif dalam setiap tahapan kegiatan, mulai dari sosialisasi, pelatihan, hingga penerapan teknologi TEG.

DAFTAR RUJUKAN

- Ardli, M. N. (2024). Pelatihan Kewirausahaan Bagi Pemula Di Desa Krucil: Meningkatkan Kemandirian Ekonomi Masyarakat. *DEVELOPMENT*, 2828, 6529. <https://doi.org/10.46773/djce.v1i1.1576>
- Arruafy, M. G., Wulandari, D., Sakti, A. M., & Ganda, A. N. F. (2024). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Berbasis Generator Termoelektrik pada Alat Pengolah Limbah Sampah. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(02), 345-351. <https://doi.org/10.26740/jrm.v9i02.62610>
- Chintya, B., & Siagian, A. P. N. (2024). Rancang Bangun Pengolahan Sampah Berbasis Thermoelectric untuk Menghasilkan Energi Listrik dan Meningkatkan Sanitasi di Permukiman Padat Penduduk. *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, 5(1), 786-796. <https://doi.org/10.51510/konsep.v5i1.1785>
- Dewi, I. R. (2023). *Energi Terbarukan: Pemanfaatan Energi Terbarukan sebagai Energi Alternatif yang Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan-Rajawali Pers*. Depok: PT. RajaGrafindo Persada.
- Digdoyo, A., Surawan, T., Djamruddin, D., Yuniati, E., & Saputra, A. A. (2021, August). Pemanfaatan Limbah Panas Dari Internal Combustion Engine Sebagai Energi Terbarukan Melalui Proses Pemulihan Gas Buang. In *Proceeding Technology of Renewable Energy and Development Conference* (Vol. 1).
- Endahwati, L., & Sutiyono, S. (2023). Pemanfaatan energi panas menggunakan termoelektrik generator dengan variasi Peltier. *Jurnal Flywheel*, 14(1), 19-23. <https://doi.org/10.36040/flywheel.v14i1.6522>
- Firmansah, A. Y., & Muzekki, S. (2025). Eco Brick Iconic: Kolaborasi Mahasiswa dan Masyarakat dalam Pengelolaan Lingkungan KKN 01 STKIP PGRI Sampang Desa Pacangsaan 2025. *Journal of Community Service (JCOS)*, 3(4), 204-212. <https://doi.org/10.56855/jcos.v3i4.1739>
- Jayanegara, S., Rifqie, D. M., & Hidayat, A. (2023). Optimisasi Sumber Energi Listrik Dari Mesin Pengereng Rak Telur Menggunakan Modul Termoelektrik Generator: Indonesia. *Journal of Embedded Systems, Security and Intelligent Systems*, 64-69. <https://doi.org/10.59562/jessi.v4i2.978>
- Jumini, S., El Syam, R. S., Suwondo, A., Guspul, A., & Mardiyantoro, N. (2023). The role of higher education in fostering the creativity and innovation of students, college students, and business actors. *Perspektif Ilmu Pendidikan*, 37(1), 77-87.
- Jumini, S., Madnasri, S., Cahyono, E., & Parmin, P. (2022). Article review: Integration of science, technology, entrepreneurship in learning science through bibliometric analysis. *Journal of Turkish Science Education*, 19(4), 1237-1253. <https://doi.org/10.36681/tused.2022.172>
- Jumini, S., Parmin, P., Hanifah, D. P., Ariyani, M., Triyani, A., Jannata, T., & Haryanto, S. (2024). Peran Pendampingan terhadap Kompetensi Menulis Artikel Berstandar Jurnal Terakreditasi Sinta. *Carmin: Journal of Community Service*, 4(2), 87-94. <https://doi.org/10.59329/carmin.v4i2.121>
- Kartika, M., Khoiri, N., Sibuea, N. A., & Rozi, F. (2021). Learning by doing, training and life skills. *MUDABBIR Journal Research and Education Studies*, 1(2), 91-103. <https://doi.org/10.56832/mudabbir.v1i2.80>
- Kurniawan, A., Wiratama, A. S., Adam, F. A., Prayoga, H. B., & Prakosa, T. H. (2020). Mengubah Panas Buang Heater Mesin Injeksi Menjadi Energi Listrik dengan Peralatan Berbasis Termoelektrik. *Quantum Teknika: Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 2(1), 8-14. <https://doi.org/10.18196/jqt.020116>
- Missouri, R., Annafi, N., Lukman, L., Khairunnas, K., Mutmainah, S., Fathir, F., & Alamin, Z. (2023). Peningkatan kesadaran dan partisipasi masyarakat melalui pelatihan pengelolaan sampah. *Taroa: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 91-101. <https://doi.org/10.52266/taroa.v2i2.2617>
- Muharnif, M., Umuani, K., & Nasution, F. A. (2022). Analisis termoelektrik generator (TEG) sebagai pembangkit listrik bersekala kecil terhadap perbedaan temperatur. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 5(1), 26-32. <https://doi.org/10.30596/rmme.v5i1.10260>

Sosialisasi energi listrik alternatif dari limbah panas buangan menggunakan Teknologi Thermoelectric Generator (TEG)

- Nuryana, R. S., Jatnika, D. C., & Firsanty, F. P. (2025). Efektivitas Sosialisasi sebagai Pendekatan Partisipatif dalam Program Sosial: Tinjauan Sistematis Literatur. *Share: Social Work Journal*, 15(1), 35-47. <https://doi.org/10.24198/share.v15i1.63487>
- Rimbawati, R., Prandika, B., & Cholish, C. (2022). Rancang Bangun Sistem Konversi Energi Panas Api Menjadi Energi Listrik Sebagai Alat Charger Baterai Menggunakan Termoelektrik. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 6(1), 1-8. <https://doi.org/10.22373/crc.v6i1.10236>
- Saputra, N., Mainil, R. I., & Aziz, A. (2023). Pembangkit energi listrik memanfaatkan penyerapan panas jalan beton menggunakan teknologi termoelektrik generator (TEG) dengan pelat penyerap tembaga berbentuk I. *Jurnal Teknologi*, 15(2), 325-336. <https://doi.org/10.24853/jurtek.15.2.325-336>
- Simanjuntak, J. P. (2023). Metode Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Non Fosil. <https://digilib.unimed.ac.id/id/eprint/52169>
- Sonjaya, Y., Noy, I. R., Sutisna, E., Ermawati, Y., & Khotimah, K. (2025). Evaluasi Dampak Pengabdian Masyarakat Berbasis Kearifan Lokal. *Celebes Journal of Community Services*, 4(2), 266-284. <https://doi.org/10.37531/celeb.v4i2.2930>
- Sopyan, E., Prasetyo, Y. D., Apriadi, E. A., & Chairunnisa, C. (2025). Desa Digital dan Informatif: Visualisasi dan Manajemen Konten Layanan Publik Berbasis Teknologi Informasi di Pemerintahan Desa Kunjir Lampung Selatan. *Jurnal Abdi Masyarakat Saburai (JAMS)*, 6(01), 61-75. <https://doi.org/10.24967/jams.v6i01.4184>
- Sukowiyono, G., & Susanti, D. B. (2018). Fungsi Pawon Sebagai Desain Perolehan Panas Pada Hunian Di Daerah Dingin. *Pawon: Jurnal Arsitektur*, 2(01), 37-48. <https://doi.org/10.36040/pawon.v2i01.1078>
- Suryaman, N. N., Ash Siddiq, R. H. B., & Ardiansyah, N. P. (2024). Pengembangan Metode Pengajaran Energi Terbarukan di SDN 201 Sukaluyu Kota Bandung. *Jurnal Abdi Insani*, 11(3), 1361-1369. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v11i3.1959>
- Umam, F., Budiarto, H., & Wahyuni, S. (2017). Perancangan Thermoelectric Generator (TEG) sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Rekayasa*, 10(2), 123-127. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v10i2.6345>
- Vernando, W., Kurniawan, A., Refdinal, R., & Fernanda, Y. (2023). Effect of Using a Solar Can Heater Collector on the Temperature of a Room at Several External Temperature Variations. *MOTIVATION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(3), 607-618. <https://doi.org/10.46574/motivaction.v5i3.281>