



Implementasi Urban Farming Hidroponik Berbasis Panel Surya di Desa Beurabong

Riski Arifin^{1*}, T. Arriessa Sukhairi, Arief Gunawan³, Khalisha Munabirah¹, Muhammad Hafis Yusi²,
Muhammad Asyraf Saputra³

¹Teknik Industri, Jl. Syekh Abdurauf As Sinkili No.7, Kopelma Darussalam, Kec. Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Indonesia

²Teknik Mesin, Jl. Syekh Abdurauf As Sinkili No.7, Kopelma Darussalam, Kec. Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Indonesia

³Perencanaan Wilayah dan Kota, Jl. Syekh Abdurauf As Sinkili No.7, Kopelma Darussalam, Kec. Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Indonesia

¹riskiarifin@usk.ac.id *

Artikel History:

Received: 2025-11-14 / Received in revised form: 2025-11-25 / Accepted: 2025-11-30

ABSTRACT

This community engagement program aims to strengthen the economic independence of rural communities through the application of vertical hydroponic systems integrated with solar energy. The program was developed in response to limited agricultural productivity, dependence on seasonal rainfall, and the lack of access to appropriate technology in Desa Beurabong. The method was designed using a participatory approach through field observation, focus group discussions, technical training, and mentoring on hydroponic cultivation and basic business management. A total of 15 participants were involved through structured activities including socialization, hands-on training, system implementation, and evaluation. The results show a significant increase in participant knowledge, with post-test scores rising by an average of 35% after training. The installed system consisted of a vertical Nutrient Film Technique structure powered by a 150 W solar panel, which successfully operated independently from the conventional electricity grid. The program also improved the managerial capacity of BUMG through digital bookkeeping and marketing guidance. In conclusion, the integrated use of hydroponic technology and renewable energy effectively strengthened community skills, supported local food security, and provided a replicable model for sustainable rural economic development.

Keywords : *hydroponic, solar energy, community empowerment, rural development*

ABSTRAK

Program pengabdian ini bertujuan untuk memperkuat kemandirian ekonomi masyarakat desa melalui penerapan sistem hidroponik horizontal yang terintegrasi dengan energi surya. Program dirancang sebagai respon terhadap rendahnya produktivitas pertanian, ketergantungan pada hujan musiman, serta keterbatasan akses masyarakat terhadap teknologi tepat guna di Desa Beurabong. Metode pelaksanaan dirancang melalui pendekatan partisipatif yang meliputi observasi lapangan, diskusi kelompok terarah, pelatihan teknis, serta pendampingan dalam budidaya hidroponik dan manajemen usaha. Sebanyak 15 peserta terlibat dalam rangkaian kegiatan yang mencakup sosialisasi, pelatihan praktik, implementasi teknologi, dan evaluasi hasil. Program menunjukkan adanya peningkatan kemampuan peserta, ditandai dengan kenaikan nilai post-test rata-rata sebesar 35% setelah pelatihan. Sistem hidroponik horizontal Nutrient Film Technique yang dipasang dan ditenagai panel surya 150 W dapat beroperasi tanpa ketergantungan pada listrik konvensional. Program ini juga meningkatkan kapasitas manajerial BUMG melalui penggunaan pencatatan digital dan pelatihan pemasaran. Secara keseluruhan, integrasi

Riski Arifin.

Email:riskiarifin@usk.ac.id

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



teknologi hidroponik dan energi terbarukan terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan masyarakat, memperkuat ketahanan pangan, dan menghadirkan model pembangunan ekonomi desa berkelanjutan.

Kata kunci : hidroponik, energi surya, pemberdayaan masyarakat, pembangunan desa

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor kunci dalam pembangunan ekonomi Indonesia, terutama di wilayah pedesaan yang masih menggantungkan kesejahteraan pada aktivitas budidaya tanaman pangan. Namun, pola pertanian tradisional yang mengandalkan musim hujan, penggunaan air dalam jumlah besar, serta minimnya teknologi modern sering menjadi hambatan dalam menjaga stabilitas produksi. Tantangan ini semakin meningkat dengan adanya perubahan iklim, menurunnya kualitas lahan, dan keterbatasan akses masyarakat desa terhadap energi yang terjangkau serta berkelanjutan. Di banyak daerah, persoalan tersebut berdampak langsung pada ketahanan pangan lokal dan kontribusi ekonomi desa (Salasa, 2021).

Pada saat yang sama, berbagai penelitian menunjukkan bahwa teknologi pertanian modern seperti hidroponik dan energi terbarukan mampu meningkatkan efisiensi produksi sekaligus memperkuat ketahanan ekonomi masyarakat. Review komprehensif menemukan bahwa sistem hidroponik dan sistem *soilless* dapat memangkas kebutuhan air hingga mendekati 70–90% dibanding praktik bercocok tanam konvensional pada kondisi tertentu, terutama bila air direcirkulasi dan dikelola secara tertutup (Rajaseger et al., 2023). Integrasi dengan panel surya juga memberikan sumber energi stabil dan biaya operasional yang lebih rendah bagi petani skala kecil (Haryanto et al., 2024). Selain itu, integrasi energi terbarukan seperti penggunaan panel surya untuk mengoperasikan pompa dan sistem kontrol telah terbukti layak secara teknis dan operasional pada tingkat komunitas. Penerapan teknologi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap pasokan listrik konvensional, tetapi juga meningkatkan kemandirian energi serta keberlanjutan operasional unit produksi (Abdelhamid et al., 2025; Sahat et al., 2023). Tren ini memperlihatkan bagaimana inovasi pertanian dapat menjadi pendorong transformasi ekonomi desa apabila didukung oleh model pemberdayaan yang tepat.

Dalam konteks yang lebih spesifik, Desa Beurabong di Kecamatan Darussalam, Kabupaten Aceh Besar, menghadapi tantangan serupa. Meskipun memiliki lahan produktif, sebagian besar aktivitas pertanian masih dilakukan secara konvensional dan sangat bergantung pada curah hujan musiman. Ketergantungan ini sering menimbulkan kerentanan pada masa kemarau, sehingga berdampak pada penurunan hasil panen dan pendapatan petani. Selain itu, terdapat keterbatasan dalam pemanfaatan teknologi pertanian modern serta belum optimalnya penggunaan energi alternatif, sehingga potensi produktivitas desa belum sepenuhnya tercapai. Kondisi ini diperparah oleh peran kelembagaan ekonomi desa, khususnya Badan Usaha Milik Gampong (BUMG), yang belum berkembang dalam bidang produksi pangan. Fenomena serupa juga terjadi di berbagai wilayah Indonesia, di mana kondisi kelembagaan ekonomi desa, khususnya Badan Usaha Milik Gampong (BUMG/BUMDes), yang belum optimal dalam mengembangkan unit usaha produktif memperparah kerentanan ekonomi lokal. Padahal, literatur menunjukkan bahwa diversifikasi usaha BUMDes berbasis teknologi dapat meningkatkan pendapatan desa terhadap Pendapatan Asli Desa (PADes) (Ultari, 2024). Penelitian berbasis studi kasus juga mengidentifikasi bahwa penerapan strategi diversifikasi usaha dan penguatan kapasitas manajerial mampu mendorong pertumbuhan PADes serta memberikan dampak pada peningkatan pendapatan rumah tangga di tingkat desa (Asmawanti et al., 2022).

Melihat peluang tersebut, penerapan sistem hidroponik berbasis energi surya menjadi solusi strategis untuk meningkatkan kapasitas masyarakat Desa Beurabong sekaligus mendorong kemandirian ekonomi BUMG. Model pemberdayaan berbasis pelatihan dan pendampingan (*training-based empowerment*) juga sejalan dengan teori *Diffusion of Innovation* yang menekankan pentingnya peningkatan literasi teknologi agar masyarakat mampu mengadopsi inovasi secara mandiri dan berkelanjutan (Revita & Haiyah, 2025). Upaya ini bukan hanya memperkuat ketahanan pangan desa, tetapi juga mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) seperti Zero Hunger, Affordable and Clean Energy, dan Decent Work and Economic Growth (Bappenas, 2024). Dengan demikian, program pengabdian ini

disusun sebagai bentuk respons terhadap kebutuhan masyarakat Desa Beurabong, melalui integrasi teknologi hidroponik dan energi surya serta penguatan kelembagaan BUMG, sehingga dapat menjadi model pemberdayaan desa yang produktif, berkelanjutan, dan berpihak pada kesejahteraan masyarakat.

2. METODE PELAKSANAAN KEGIATAN

Metode pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat dirancang secara sistematis untuk menjawab permasalahan yang dihadapi oleh BUMG Desa Barabung. Jenis kegiatan pengabdian ini termasuk dalam Program Pemberdayaan Masyarakat berbasis Teknologi dan Manajemen Usaha. Desain pengabdian menggunakan pendekatan partisipatif dan kolaboratif, di mana tim pelaksana berperan sebagai fasilitator dan pendamping bagi mitra dalam mengembangkan kapasitas produksi, manajerial, dan pemasaran melalui teknologi tepat guna serta pelatihan intensif.

Sumber data diperoleh secara primer dan sekunder. Data primer didapatkan melalui observasi lapangan, wawancara mendalam, dan Focus Group Discussion (FGD) bersama pengelola BUMG, sedangkan data sekunder diperoleh dari dokumen administrasi BUMG, catatan produksi, serta literatur pendukung mengenai teknologi hidroponik dan manajemen usaha berbasis energi terbarukan. Analisis dilakukan secara deskriptif kualitatif, dengan menilai perubahan kemampuan mitra, peningkatan efisiensi operasional, dan pertumbuhan ekonomi lokal sebelum dan sesudah program. Evaluasi kinerja pengabdian dilakukan melalui kuesioner, monitoring berkala, serta analisis keuangan sederhana untuk melihat perkembangan pendapatan usaha mitra. Berikut merupakan alur pelaksanaan pengabdian.



Gambar 1. Alur pelaksanaan pengabdian

Program ini dilaksanakan melalui empat tahapan utama, yaitu Sosialisasi dan Penyamaan Persepsi. Tahap awal dilakukan dengan pertemuan antara tim pelaksana, pengelola BUMG, dan masyarakat untuk menjelaskan tujuan, manfaat, serta mekanisme pelaksanaan kegiatan. Kegiatan ini disertai dengan FGD guna menggali kebutuhan mitra serta menyesuaikan rancangan program dengan kondisi lokal. Hasil kegiatan ini dituangkan dalam bentuk kesepakatan kerja sama antara tim pelaksana dan pihak BUMG sebagai dasar komitmen bersama. Selanjutnya pelaksanaan pelatihan teknis dan manajerial. Pelatihan dilaksanakan pada dua aspek utama, yaitu aspek produksi, mencakup instalasi dan perawatan sistem hidroponik horizontal berbasis energi surya, teknik pemupukan, dan pemeliharaan tanaman serta aspek manajerial, meliputi pelatihan pengelolaan usaha hidroponik berbasis BUMG, sistem pencatatan keuangan digital, serta strategi pemasaran digital melalui media sosial dan *e-commerce*. Tahapan selanjutnya penerapan teknologi dan implementasi sistem. Setelah pelatihan, mitra didampingi dalam penerapan sistem hidroponik berbasis panel surya serta penerapan sistem administrasi digital. Proses ini bertujuan memastikan keterampilan mitra meningkat dan teknologi dapat dioperasikan secara mandiri. Tahapan terakhir evaluasi pengetahuan dan pemahaman masyarakat sebelum dan sesudah pelaksanaan program melalui *pre-test* dan *post-test*.

3. HASIL KEGIATAN DAN PEMBAHASAN

Program pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas BUMG Pelita Jaya Desa Beurabong, Kecamatan Krueng Barona Jaya, Kabupaten Aceh Besar, dalam mengembangkan urban farming berbasis energi terbarukan. Program difokuskan pada penguatan pengetahuan dan penerapan teknologi hidroponik horizontal sistem Nutrient Film Technique (NFT) yang terintegrasi dengan panel surya, sebagai solusi berkelanjutan untuk meningkatkan ketahanan pangan dan pendapatan ekonomi lokal. Kegiatan ini dilaksanakan selama dua bulan, dengan melibatkan 15 peserta aktif yang terdiri atas pengurus BUMG dan pemuda desa. Pendekatan yang digunakan adalah *participatory community engagement*, di mana masyarakat terlibat langsung dalam setiap tahap mulai dari perencanaan hingga evaluasi kegiatan. Berikut dokumentasi kegiatan pengabdian di Desa Beurabong.



Gambar 2. Kegiatan pengabdian di Desa Beurabong

3.1 Sosialisasi dan Penyamaan Persepsi

Kegiatan sosialisasi dilaksanakan pada 11 November 2025 di Kantor Keuchik Desa Beurabong dan dihadiri oleh perangkat desa, pengurus BUMG, serta perwakilan masyarakat. Tujuan utama kegiatan ini adalah untuk menyampaikan konsep urban farming berbasis hidroponik dan energi surya, termasuk manfaat ekonomi dan keberlanjutannya. Materi sosialisasi difokuskan pada pengenalan konsep urban farming berbasis hidroponik yang terintegrasi dengan energi surya. Pokok bahasan meliputi prinsip dasar sistem hidroponik, potensi pemanfaatan lahan sempit di kawasan perdesaan, efisiensi penggunaan air, serta peluang ekonomi melalui pemanfaatan hasil panen sayuran segar.

Selain itu, disampaikan pula konsep penerapan panel surya sebagai sumber energi alternatif untuk mengoperasikan pompa air dan sistem irigasi hidroponik. Materi dirancang secara aplikatif dengan menekankan aspek keberlanjutan (*sustainability*), efisiensi sumber daya, dan kontribusi terhadap ketahanan pangan lokal. Penyampaian dilakukan dengan pendekatan visual dan interaktif, sehingga peserta dapat memahami keterkaitan antara inovasi teknologi dan pemberdayaan ekonomi masyarakat desa. Pendekatan ini sejalan dengan temuan (Herdiana et al., 2025), yang menyatakan bahwa keberhasilan transfer pengetahuan teknologi tepat guna sangat dipengaruhi oleh efektivitas komunikasi dua arah antara fasilitator dan masyarakat.

Pelaksanaan kegiatan dilakukan melalui pemaparan materi, diskusi terbuka, dan sesi tanya jawab. Berdasarkan hasil observasi lapangan, kegiatan ini menunjukkan tingkat partisipasi tinggi dari masyarakat. Sekitar 85% peserta aktif memberikan umpan balik dan menyatakan ketertarikan untuk terlibat dalam tahap berikutnya.

Tabel 1. Partisipasi Peserta dalam Kegiatan Sosialisasi

No	Aspek Kegiatan	Persentase (%)
1	Kehadiran	100
2	Partisipasi aktif (bertanya/berpendapat)	85
	Pemahaman konsep dasar hidroponik	90
	Kesediaan mengikuti pelatihan lanjutan	80

Berikut merupakan dokumentasi pemaparan materi mengenai konsep urban farming dan energi surya dilakukan dengan bantuan media visual agar lebih mudah dipahami oleh peserta.



Gambar 3. Suasana kegiatan sosialisasi program *urban farming* di Desa Beurabong

3.2 Pelatihan Teknis dan Manajerial

Pelatihan dilaksanakan dengan dua fokus utama, yaitu peningkatan kapasitas teknis produksi hidroponik berbasis energi terbarukan serta penguatan manajerial untuk pengelolaan usaha hidroponik di bawah BUMG.

Pada pelatihan teknis, peserta diperkenalkan pada instalasi sistem hidroponik Nutrient Film Technique (NFT) tipe horizontal, mulai dari perakitan modul pipa, penyusunan sistem irigasi, hingga konfigurasi kemiringan aliran nutrisi. Peserta juga mendapatkan materi terkait formulasi dan penggunaan pupuk AB Mix, meliputi teknik pengukuran Electrical Conductivity (EC), pH larutan, serta penyesuaian nutrisi untuk fase pertumbuhan tanaman. Selain itu, dilakukan praktik pemeliharaan tanaman hidroponik, mencakup monitoring hama, sanitasi peralatan, dan rotasi tanaman. Pelatihan energi terbarukan difokuskan pada penerapan panel surya 150 W sebagai sumber energi alternatif untuk mengoperasikan pompa sirkulasi. Sesi ini mencakup pengenalan komponen sistem fotovoltaik, pemasangan *charge controller*, konfigurasi baterai 12V, serta prosedur perawatan berkala untuk menjaga efisiensi sistem. Pada aspek manajerial, peserta mendapatkan pendampingan terkait pengelolaan usaha hidroponik berbasis BUMG. Materi pelatihan mencakup penggunaan aplikasi pencatatan digital untuk pengelolaan stok, arus kas, dan perencanaan produksi. Selain itu, diberikan pelatihan strategi pemasaran yang berorientasi pada digital branding melalui pemanfaatan media sosial dan platform e-commerce komunitas desa. Berikut merupakan suasana kegiatan pelatihan sistem hidroponik dan energi surya.



Gambar 4. Suasana kegiatan pelatihan hidroponik berbasis energi surya

Pelatihan ini dirancang berbasis praktik langsung (*hands-on training*), sehingga peserta tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu melakukan instalasi, pengoperasian, dan pengelolaan sistem secara mandiri. Pendekatan praktis semacam ini dinilai efektif sebagaimana disampaikan oleh (Rusadi et al., 2023), yang menegaskan bahwa keterampilan teknis masyarakat akan meningkat lebih baik melalui metode pelatihan berbasis praktik lapangan

3.3 Impelementasi Teknologi dan Pendampingan

Tahap implementasi merupakan fase inti dalam program pengabdian, di mana teknologi hidroponik NFT horizontal dan sistem energi surya mulai dioperasikan sebagai model percontohan di lingkungan BUMG Pelita Jaya. Implementasi dilakukan secara bertahap melalui proses instalasi, integrasi teknologi, pengoperasian, serta pendampingan teknis terhadap pengelola. Tahap ini dirancang untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi optimal dan dapat direplikasi oleh masyarakat secara mandiri.

Pelaksanaan dimulai dengan pembangunan instalasi hidroponik tipe *Nutrient Film Technique (NFT)* dengan panjang talang 5 meter dan kapasitas 120 lubang tanam. Proses instalasi meliputi pemasangan rangka, talang PVC, sistem irigasi tertutup, penampungan air nutrisi, serta pemasangan pompa berdaya rendah. Seluruh komponen disusun untuk menyesuaikan kondisi lahan $\pm 3 \times 3$ meter yang tersedia pada area BUMG. Proses ini dilakukan bersama perangkat desa dan anggota BUMG untuk memfasilitasi pembelajaran langsung (*learning by doing*).

Integrasi dengan energi terbarukan dilakukan melalui pemasangan panel surya monocrystalline 150 W yang dikombinasikan dengan baterai 12V 100Ah dan solar charge controller. Struktur panel dipasang pada area terbuka yang memaksimalkan paparan sinar matahari harian. Sistem ini dirancang untuk mendukung kebutuhan listrik pompa sirkulasi dan perangkat pendukung tanpa bergantung pada sumber listrik konvensional. Model ini sejalan dengan temuan Rumambi et al. (2023) yang menegaskan bahwa integrasi panel surya pada sistem hidroponik dapat menurunkan ketergantungan energi grid sekaligus meningkatkan keberlanjutan operasional.

Selanjutnya, proses operasional dimulai dengan pengisian bak nutrisi menggunakan larutan AB Mix dan pengaturan debit aliran sesuai standar NFT. Pendampingan diberikan kepada anggota BUMG untuk memastikan pemahaman terhadap dinamika konsentrasi nutrisi, pH, dan kebutuhan air tanaman. Monitoring awal dilakukan setiap hari selama dua minggu untuk memastikan stabilitas aliran nutrisi, kinerja pompa, serta respon tanaman terhadap lingkungan mikro. Tahapan ini merujuk pada pedoman efisiensi budidaya hidroponik sebagaimana dijelaskan oleh Saefulloh et al. (2022), yang menekankan pentingnya fase adaptasi awal untuk mencapai hasil optimal. Berikut merupakan suasana pendampingan instalasi sistem hidroponik horizontal dan panel surya.

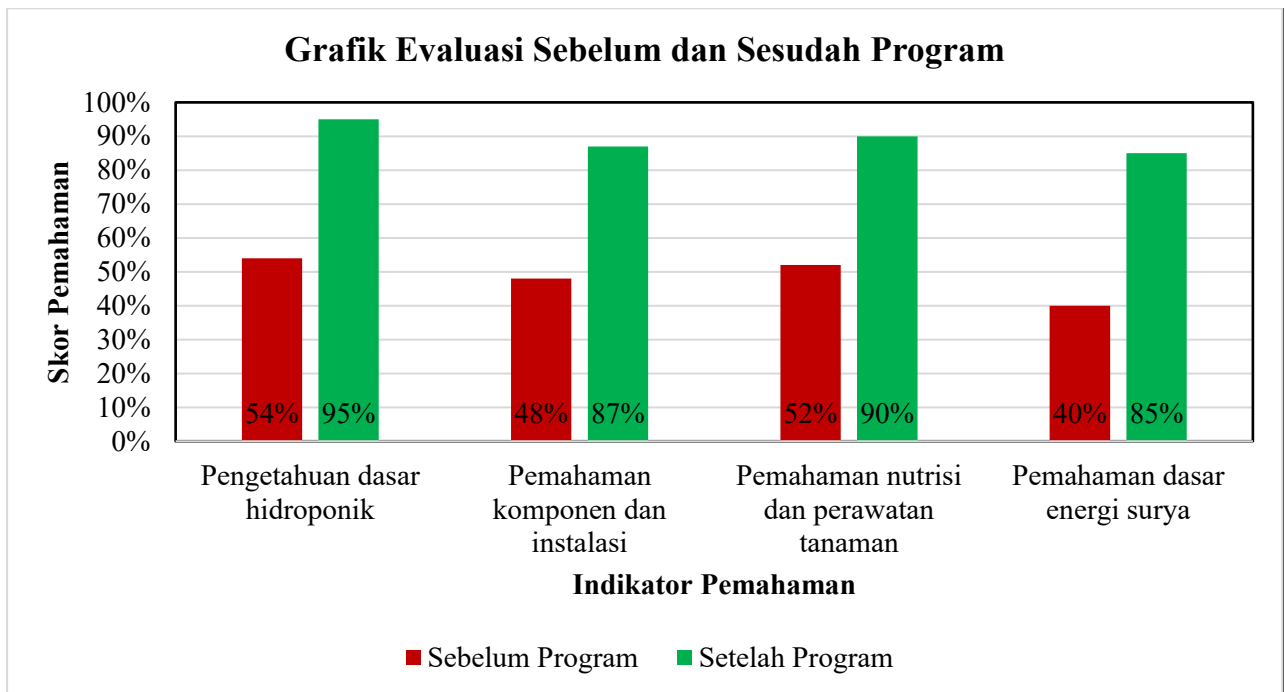


Gambar 5. Instalasi Sistem Hidroponik Horizontal dan Panel Surya

3.4 Evaluasi Pengetahuan dan Pemahaman Masyarakat

Evaluasi keberhasilan program difokuskan pada peningkatan pengetahuan dan pemahaman masyarakat setelah mengikuti rangkaian kegiatan sosialisasi, pelatihan teknis-manajerial, dan pendampingan intensif. Penilaian dilakukan melalui *pre-test* dan *post-test*, wawancara singkat, serta observasi terhadap kemampuan peserta dalam menjelaskan kembali konsep-konsep dasar hidroponik dan energi surya.

Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan pemahaman yang substansial pada seluruh peserta. Pada tahap awal sosialisasi, sebagian besar peserta masih memiliki pengetahuan dasar yang terbatas terkait prinsip kerja sistem hidroponik, pemahaman komponen dan instalasi, kebutuhan nutrisi tanaman, serta fungsi panel surya dalam penyediaan energi. Setelah pelatihan dan pendampingan, peserta mampu menjelaskan alur kerja sistem, mengenali komponen utama, dan memahami prosedur perawatan harian. Dengan rata-rata kenaikan *post-test* sebesar 35%. Berikut merupakan grafik *pre-test* dan *post-test* pengetahuan dan pemahaman masyarakat yang dilakukan sebelum dan sesudah dilaksanakan program sosialisasi.



Gambar 6. Grafik evaluasi pemahaman dan pengetahuan masyarakat sebelum dan sesudah program

SIMPULAN

Kegiatan pengabdian ini memberikan pemahaman yang komprehensif kepada masyarakat Desa Beurabong mengenai penerapan sistem hidroponik horizontal berbasis energi surya sebagai alternatif peningkatan kapasitas produksi pangan dan penguatan kemandirian ekonomi BUMG. Pelatihan dan pendampingan yang dilakukan terbukti mampu menjawab kebutuhan masyarakat terkait literasi teknologi, mulai dari konsep dasar hidroponik hingga integrasi panel surya untuk mendukung operasional pompa dan sistem irigasi. Hasil diskusi menunjukkan bahwa model teknologi tepat guna ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan energi, tetapi juga memperkuat keberlanjutan usaha melalui pengurangan ketergantungan pada listrik konvensional. Selain itu, komunikasi dua arah selama proses transfer pengetahuan menghasilkan peningkatan pemahaman peserta dalam mengoperasikan, merawat, dan mengembangkan sistem secara mandiri. Dengan demikian, program ini memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan kapasitas teknis, kemandirian energi, dan ketahanan pangan lokal melalui penerapan inovasi yang aplikatif dan berkelanjutan. Bagian Kesimpulan berisi temuan

pengabdian dalam bentuk jawaban atas pertanyaan pengabdian atau dalam bentuk esensi dari hasil diskusi.

SARAN

Pemerintah desa disarankan untuk memberikan dukungan regulasi dan anggaran melalui program ketahanan pangan atau dana desa, sehingga sistem hidroponik bertenaga surya dapat diperluas ke area lain seperti pekarangan rumah warga atau fasilitas umum. Dukungan ini diharapkan dapat memperkuat kapasitas kelembagaan desa serta mempercepat replikasi teknologi tepat guna pada masyarakat secara luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhamid, M. A., Mahmoud, S. M., El-nasr, M. K. A., Zhang, Z., & Hendy, Z. M. (2025). *Sustainable hydroponic production using solar energy and treated greywater within the water-energy-food-environment nexus*. 1–18.
- Asmawanti, D., Fitranita, V., & Febriani, R. E. (2022). *Jurnal Akuntansi dan Auditing Indonesia The exploratory study on performance of Village-Owned Enterprises (BUMDes) in Small Regency Bengkulu*. 26(2).
- Bappenas. (2024). *Pilar Pembangunan Sosial*.
- Haryanto, L. I., Hendrawati, T. Y., Darto, D., Yani, F., Listanto, F. A., Yoga, D., & Pratama, P. (2024). *Utilization of solar energy in hydroponic systems for enhancing energy independence in farming communities*. 9(November), 853–867.
- Herdiana, B., Utama, J., Aria, M., Pohan, R., & Hartono, R. (2025). *Improving farmers ' knowledge through empowerment training on smart irrigation systems in hydroponic farming*. 10(May), 303–313.
- Rajaseger, G., Chan, K. L., Tan, K. Y., Ramasamy, S., Khin, M. C., & Amaladoss, A. (2023). *Hydroponics : current trends in sustainable crop production*. 19(9), 925–938. <https://doi.org/10.6026/97320630019925>
- Revita, N., & Haiah, F. (2025). *Social Empowerment Through Technological Innovatio For Sustainable Agriculture*. 5(1), 258–272. <https://doi.org/10.46306/bbijbm.v5i1.125>
- Rumambi, D. P., Ludong, D. P. ., Saiya, A. M., & J.Paat, F. (2023). Aplikasi Panel SUrya Sebagai SUMber Listrik Irigasi Sistem Hidroponik. *Jurnal AGroteknologi Terapan*, 4(c), 122–129.
- Rusadi, S., Hanifah, A., & Satriana, I. (2023). Pelatihan Smart Farming Berbasis IoT Kepada Kelompok Tani Jamur Tiramu Dalam Peningkatan Ekonomi Di Kabupaten Kampar *Janayu*. 4(3), 212–221. <https://doi.org/10.22219/janayu.v2i2.16075>
- Saeffulloh, A., Purnama, I., Sumarna, E., Milenia, T. S., & Adirma, A. (2022). *Pemanfaatan Pekarangan Rumah dengan Sistem Hidroponik untuk Ketahanan Pangan di Desa Handiwung, Kabupaten Kapuas*. 9(2), 89–93.
- Sahat, D., Manalu, T., Maritasari, H., Rusmiyati, H., & Nurlaili, U. A. (2023). *Implementation Of Solar Panels As a Support Of Hydroponic Agriculture At Dewaponik Yogyakarta*. 01002.
- Salasa, A. R. (2021). *Paradigma dan Dimensi Strategi Ketahanan Pangan Indonesia Paradigm and Dimensions of Indonesia ' s Food Security Strategy*. 13(1), 35–48.
- Ultari, T. (2024). *The Role of Village-Owned Enterprises (BUMDes) in Village Development : Empirical Evidence from Villages in Indonesia*. VIII(2), 256–280.