

Pelatihan Otomatisasi Pencampuran Nutrisi Hidroponik dengan Smart Nutrition System melalui Program BBPVP Medan

Randy Prandana

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Mahkota Tricom Unggul, Medan, Indonesia

Corresponding Email: prandana.randy@gmail.com

Abstrak. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan melalui program BBPVP Medan dengan tema Pelatihan Otomatisasi Pencampuran Nutrisi Hidroponik Menggunakan Smart Nutrition System. Peserta kegiatan terdiri atas mahasiswa dan alumni dari Universitas Mahkota Tricom Unggul, Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah Medan, dan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Tujuan utama kegiatan ini adalah meningkatkan kapasitas dan keterampilan peserta dalam bidang teknologi pertanian modern berbasis otomatisasi. Metode pelaksanaan mencakup empat tahapan, yaitu sosialisasi, pelatihan teknis, praktik lapangan, dan sesi evaluasi. Pada tahap pelatihan teknis dan praktik lapangan, peserta dibekali pemahaman konsep dasar budidaya tanaman hidroponik sekaligus keterampilan merancang sistem otomatisasi menggunakan mikrokontroler ESP32 yang diintegrasikan dengan sensor nutrisi, sensor ketinggian air, sensor suhu ruangan, serta sistem pemantauan jarak jauh melalui bot Telegram. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan dalam pengetahuan dan keterampilan peserta, baik dari sisi konseptual maupun teknis. Kegiatan ini diharapkan mampu membuka peluang usaha kreatif baru di bidang produksi sayuran hidroponik guna mendukung kemandirian pangan dan keberlanjutan lingkungan. Selain itu, pengabdian ini merupakan upaya nyata dalam mendorong transformasi digital dan pemberdayaan mahasiswa secara berkelanjutan di wilayah Sumatera Utara.

Kata kunci: Hidroponik, Otomatisasi, ESP32, *Smart Nutrition System*

1. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan salah satu isu strategis yang terus mendapat perhatian serius di tingkat nasional maupun global [1]. Pertumbuhan populasi yang pesat, perubahan iklim, dan berkurangnya lahan pertanian produktif menjadi tantangan utama dalam menjamin ketersediaan pangan yang cukup dan berkelanjutan [2]. Dalam konteks ini, inovasi teknologi pertanian menjadi keniscayaan yang tidak dapat dielakkan, khususnya dalam upaya meningkatkan efisiensi produksi pangan di lahan terbatas [3].

Hidroponik telah diakui secara luas sebagai salah satu solusi pertanian modern yang mampu menjawab keterbatasan lahan dengan menghasilkan produk hortikultura berkualitas tinggi [4]. Sistem budidaya tanpa tanah ini menawarkan berbagai keunggulan, di antaranya efisiensi penggunaan air hingga 90% dibandingkan pertanian konvensional, siklus panen yang lebih cepat, serta kemampuan produksi di berbagai kondisi lingkungan [5]. Berbagai studi telah membuktikan bahwa tanaman yang ditanam secara hidroponik memiliki pertumbuhan lebih optimal apabila nutrisi yang diberikan dikelola secara tepat dan terukur [6].

Salah satu faktor kritis dalam keberhasilan sistem hidroponik adalah manajemen nutrisi yang presisi [7]. Ketidaktepatan dalam pencampuran dan pemberian larutan nutrisi dapat menyebabkan defisiensi atau toksisitas pada tanaman, yang berujung pada penurunan hasil panen secara signifikan [8]. Secara tradisional, proses pencampuran nutrisi masih dilakukan secara manual, yang rentan terhadap kesalahan manusia dan tidak konsisten [9]. Oleh karena itu, otomatisasi dalam proses pencampuran nutrisi menjadi kebutuhan mendesak untuk meningkatkan presisi dan efisiensi sistem hidroponik [10].

Perkembangan Internet of Things (IoT) telah membuka peluang besar dalam pengembangan sistem pertanian cerdas atau *smart farming* [11]. Mikrokontroler ESP32 merupakan salah satu platform IoT yang banyak digunakan dalam aplikasi pertanian pintar karena kemampuannya dalam mengintegrasikan berbagai sensor dan modul komunikasi nirkabel dengan biaya yang relatif terjangkau [12]. Pemanfaatan ESP32 dalam sistem hidroponik memungkinkan pemantauan dan pengendalian parameter pertumbuhan tanaman secara real-time dan otomatis [13].

Integrasi sensor dalam sistem hidroponik otomatis mencakup sensor nutrisi atau TDS (*Total Dissolved Solids*), sensor ketinggian air, dan sensor suhu yang bekerja secara sinergis untuk menjaga kondisi optimal pertumbuhan tanaman [14]. Sensor TDS berfungsi mengukur konsentrasi larutan nutrisi, sementara sensor ketinggian air memastikan ketersediaan larutan yang cukup, dan sensor suhu memantau kondisi lingkungan yang

memengaruhi metabolisme tanaman [15]. Data dari seluruh sensor ini kemudian diproses secara otomatis oleh mikrokontroler untuk mengambil keputusan pengendalian yang tepat [16].

Sistem pemantauan jarak jauh melalui platform pesan instan seperti Telegram semakin banyak diterapkan dalam sistem pertanian berbasis IoT [17]. Bot Telegram memungkinkan pengguna memantau kondisi sistem hidroponik secara real-time dari mana saja melalui perangkat smartphone, sehingga meningkatkan kemudahan pengelolaan dan respons cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan [18]. Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan sistem pertanian modern [19].

Di sisi lain, peningkatan kapasitas sumber daya manusia melalui pelatihan berbasis teknologi menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari upaya transformasi digital sektor pertanian [20]. Program Balai Besar Pelatihan Vokasi dan Produktivitas (BBPVP) Medan hadir sebagai salah satu institusi yang berperan aktif dalam menyiapkan tenaga terampil yang mampu mengadopsi dan mengembangkan teknologi pertanian modern [21]. Kolaborasi antara institusi pelatihan vokasi dengan perguruan tinggi dinilai strategis dalam mempercepat diseminasi teknologi tepat guna kepada generasi muda [22].

Mahasiswa sebagai agen perubahan memiliki potensi besar dalam mendorong inovasi dan kewirausahaan berbasis teknologi [23]. Pembekalan keterampilan di bidang teknologi otomatisasi pertanian diharapkan dapat membuka peluang usaha baru dan meningkatkan kemandirian ekonomi mahasiswa, khususnya di wilayah Sumatera Utara [24]. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang menggabungkan pelatihan teknis dan praktik lapangan terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi peserta secara holistik [25].

Berdasarkan latar belakang tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dirancang untuk memberikan pelatihan otomatisasi pencampuran nutrisi hidroponik menggunakan Smart Nutrition System kepada mahasiswa dan alumni dari beberapa perguruan tinggi di Sumatera Utara melalui program BBPVP Medan. Kegiatan ini diharapkan tidak hanya meningkatkan pengetahuan dan keterampilan teknis peserta, tetapi juga menumbuhkan jiwa kewirausahaan dan mendorong terciptanya lapangan kerja baru di sektor agribisnis berbasis teknologi [26].

2. METODOLOGI

Metode pelaksanaan kegiatan pengabdian ini dirancang secara sistematis mengacu pada pendekatan *participatory action learning*, yaitu model pembelajaran yang mengombinasikan penyampaian teori, demonstrasi langsung, dan keterlibatan aktif peserta dalam praktik. Metode pelaksanaan terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Persiapan dan koordinasi tim pelaksana dengan Balai Besar Pelatihan Vokasi dan Produktivitas (BBPVP) Medan, Sumatera Utara. Kegiatan dilakukan selama satu bulan penuh di Universitas Mahkota Tricom Unggul, Medan.
- b. Peserta Kegiatan
Peserta kegiatan pengabdian ini adalah mahasiswa aktif dan alumni dari tiga perguruan tinggi mitra di wilayah Sumatera Utara. Pemilihan peserta dilakukan secara purposif dengan mempertimbangkan latar belakang keilmuan yang relevan, motivasi belajar, serta potensi keberlanjutan penerapan teknologi hidroponik setelah pelatihan selesai dilaksanakan. Kriteria peserta meliputi mahasiswa yang memiliki ketertarikan terhadap bidang teknologi pertanian, elektronika, maupun kewirausahaan berbasis inovasi.
- c. Kerangka Pelaksanaan
Metode pelaksanaan kegiatan pengabdian ini dirancang secara sistematis mengacu pada pendekatan *participatory action learning*, yaitu model pembelajaran yang mengombinasikan penyampaian teori, demonstrasi langsung, dan keterlibatan aktif peserta dalam praktik. Kerangka pelaksanaan terdiri atas empat tahap utama yang saling berkesinambungan. Keempat tahapan tersebut diantaranya yang pertama adalah sebagai berikut:
 1. Sosialisasi
Tahap sosialisasi merupakan tahap awal yang bertujuan membangun pemahaman dasar peserta mengenai konsep pertanian hidroponik modern dan urgensi penerapan teknologi otomatisasi dalam sistem tersebut. Pada tahap ini, tim pelaksana menyampaikan materi sosialisasi yang mencakup tiga pokok bahasan utama, yaitu:
 - a) Pengantar Pertanian Hidroponik Modern
 - b) Urgensi Otomatisasi dalam Sistem Hidroponik
 - c) Pengenalan Smart Nutrition SystemMetode yang digunakan pada tahap sosialisasi adalah ceramah interaktif, pemutaran video demonstrasi sistem, dan sesi tanya jawab terbuka. Pendekatan ini dipilih untuk mendorong partisipasi aktif peserta sejak tahap awal dan memastikan seluruh peserta memiliki pemahaman yang setara sebelum memasuki tahap pelatihan teknis.

2. Pelatihan Teknis

Tahap pelatihan teknis merupakan inti dari kegiatan pengabdian ini, di mana peserta diberikan pembekalan mendalam mengenai komponen, rangkaian, dan pemrograman sistem otomatisasi hidroponik. Pelatihan teknis dibagi menjadi empat modul utama, yaitu:

a) Pengenalan Mikrokontroler ESP32

Peserta mempelajari arsitektur dan spesifikasi teknis mikrokontroler ESP32, meliputi pin GPIO, kemampuan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, serta cara melakukan pemrograman menggunakan Arduino IDE. ESP32 dipilih sebagai platform utama karena kemampuannya yang komprehensif dengan harga yang terjangkau, menjadikannya ideal untuk implementasi sistem IoT pertanian berskala kecil hingga menengah.

b) Integrasi Sensor Nutrisi (TDS Sensor)

Peserta dilatih memahami prinsip kerja sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) dalam mengukur konsentrasi larutan nutrisi hidroponik. Materi mencakup cara kalibrasi sensor, pembacaan nilai PPM (*Parts Per Million*), serta interpretasi data sensor untuk menentukan kebutuhan penambahan nutrisi secara otomatis.

c) Integrasi Sensor Ketinggian Air dan Sensor Suhu

Peserta mempelajari penggunaan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian larutan nutrisi dalam tangki, serta sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembaban ruangan. Pemahaman mengenai ambang batas (*threshold*) nilai sensor dan mekanisme pemicu otomatis dijelaskan secara detail pada modul ini.

d) Pemrograman dan Integrasi Bot Telegram

Peserta dilatih membuat program ESP32 yang mengintegrasikan seluruh sensor dengan sistem notifikasi berbasis bot Telegram. Materi mencakup pembuatan bot Telegram menggunakan *BotFather*, konfigurasi token API Telegram, serta penulisan kode program untuk mengirimkan data monitoring secara periodik dan notifikasi otomatis ketika kondisi sistem di luar batas normal.

3. Praktik Lapangan

Tahap praktik lapangan dirancang untuk memberikan pengalaman langsung kepada peserta dalam merakit, memprogram, dan menguji sistem *Smart Nutrition System* secara nyata. Pada tahap ini, peserta dibagi menjadi beberapa kelompok kecil yang masing-masing terdiri atas 3–5 orang untuk mendorong kerja sama tim dan memastikan setiap peserta mendapatkan kesempatan praktik yang memadai.

Aktivitas praktik lapangan mencakup:

Tabel 1. Aktivitas Praktik Lapangan

No	Aktivitas	Deskripsi
1	Perakitan Rangkaian	Peserta merakit komponen ESP32, sensor TDS, sensor ultrasonik, dan sensor suhu pada papan rangkaian
2	Pemrograman	Peserta menulis dan mengunggah kode program ke mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE
3	Konfigurasi Bot Telegram	Peserta membuat dan mengonfigurasi bot Telegram untuk menerima data monitoring sistem
4	Pengujian Sistem	Peserta menguji keseluruhan sistem dengan mensimulasikan kondisi larutan nutrisi yang berbeda
5	Troubleshooting	Peserta mengidentifikasi dan memperbaiki permasalahan teknis yang ditemukan selama pengujian

Selama praktik lapangan, tim instruktur mendampingi setiap kelompok secara bergantian untuk memberikan bimbingan teknis, menjawab pertanyaan, dan memastikan seluruh peserta dapat menyelesaikan rakitan sistem dengan benar. Pendekatan pendampingan intensif ini terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman praktis peserta terhadap teknologi yang diajarkan.

4. Evaluasi

Tahap evaluasi dilaksanakan pada akhir kegiatan untuk mengukur efektivitas pelatihan dan tingkat pencapaian tujuan pengabdian. Evaluasi dilakukan menggunakan dua instrumen utama, yaitu:

- a) Pre-test dan Post-test Kuesioner terstruktur diberikan kepada peserta sebelum (*pre-test*) dan setelah (*post-test*) pelatihan untuk mengukur peningkatan pengetahuan secara kuantitatif. Instrumen ini mencakup pertanyaan seputar konsep hidroponik, pemrograman ESP32, penggunaan sensor, dan pembuatan bot Telegram. Analisis dilakukan dengan membandingkan skor rata-rata *pre-test* dan *post-test* menggunakan uji statistik deskriptif.

- b) Kuesioner Kepuasan Peserta Peserta diminta mengisi kuesioner kepuasan menggunakan skala Likert 1–5 yang mencakup aspek relevansi materi, kualitas instruktur, ketersediaan sarana dan prasarana, serta manfaat pelatihan terhadap pengembangan kompetensi. Data dari kuesioner ini digunakan sebagai bahan evaluasi dan perbaikan program pelatihan di masa mendatang.

3. HASIL DAN DISKUSI

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan tema Pelatihan Otomatisasi Pencampuran Nutrisi Hidroponik menggunakan *Smart Nutrition System* telah dilaksanakan dengan lancar dan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan selama 1 bulan penuh. Seluruh tahapan kegiatan mulai dari sosialisasi, pelatihan teknis, praktik lapangan, hingga evaluasi berjalan secara sistematis dan mendapat respons positif dari seluruh peserta. Kehadiran peserta mencapai 100% dari total peserta yang terdaftar, yang mencerminkan tingginya antusiasme dan motivasi peserta terhadap topik pelatihan yang disampaikan. Peserta yang mengikuti kegiatan ini terdiri dari tiga perguruan tinggi di Sumatera Utara yaitu, Universitas Mahkota Tricom Unggul, Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah Medan, dan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Latar belakang keilmuan peserta yang beragam, mulai dari bidang teknologi informasi, teknik elektro, hingga agribisnis, menjadikan dinamika diskusi dan praktik lapangan berlangsung sangat produktif dan saling melengkapi.

3.1 Hasil

3.1.1 Hasil Tahap Sosialisasi

Berdasarkan hasil observasi pelaksanaan selama sesi sosialisasi teridentifikasi beberapa temuan penting sebagai berikut:

a. *Pre-Test*

Hasil *pre-test* yang dilaksanakan sebelum sesi sosialisasi menunjukkan bahwa sebagian besar peserta belum memiliki pemahaman yang memadai mengenai sistem hidroponik maupun teknologi otomatisasi berbasis IoT. Rata-rata skor *pre-test* peserta berada pada angka 42,3 dari 100, yang mengindikasikan bahwa topik pelatihan ini merupakan domain pengetahuan baru bagi mayoritas peserta.

b. Minat dan Motivasi Peserta

Meskipun pengetahuan awal peserta tergolong rendah, hasil observasi dan kuesioner motivasi awal menunjukkan bahwa seluruh peserta memiliki minat yang tinggi terhadap topik pelatihan. Sebanyak 93,3% peserta menyatakan bahwa pelatihan ini sangat relevan dengan kebutuhan pengembangan kompetensi mereka, dan 86,7% peserta menyatakan tertarik untuk menerapkan teknologi hidroponik otomatis sebagai peluang usaha setelah pelatihan selesai.



Gambar 1. Sosialisasi Pemahaman Dasar Hidroponik

3.1.2 Hasil Tahap Pelatihan Teknis

Tahap pelatihan teknis berlangsung dengan sangat efektif, di mana seluruh modul berhasil disampaikan secara tuntas oleh tim instruktur. Peserta menunjukkan kemampuan penyerapan materi yang baik, terutama pada sesi pemrograman ESP32 dan konfigurasi bot Telegram yang menjadi modul paling diminati.



Gambar 2. Tahap Pelatihan Teknis

3.1.3 Hasil Tahap Praktik Lapangan

Tahap praktik lapangan menghasilkan capaian yang sangat memuaskan, di mana seluruh kelompok peserta berhasil merakit dan mengoperasikan sistem *Smart Nutrition System* secara fungsional. Sebanyak 6 unit prototipe *Smart Nutrition System* berhasil diselesaikan oleh 6 kelompok peserta, masing-masing terdiri atas 5 orang.



Gambar 3. Tahap Praktik Lapangan

3.1.4 Hasil Evaluasi dan Peningkatan Pengetahuan

Perbandingan hasil *pre-test* dan *post-test* menunjukkan peningkatan pengetahuan peserta yang signifikan setelah mengikuti seluruh rangkaian kegiatan pelatihan. Rata-rata skor *post-test* peserta mencapai 81,7 dari 100, meningkat sebesar 39,4 poin dari rata-rata skor *pre-test* sebesar 42,3. Peningkatan ini setara dengan nilai *N-Gain* sebesar 0,68 yang masuk dalam kategori sedang-tinggi menurut kriteria Hake.

Distribusi perbandingan skor *pre-test* dan *post-test* peserta ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Distribusi Skor Pre-Test dan Post-Test

Rentang Skor	Pre-Test	Post-Test	Perubahan
0 – 20	3 peserta (10,0%)	0 peserta (0%)	↓ -3
21 – 40	8 peserta (26,7%)	0 peserta (0%)	↓ -8
41 – 60	14 peserta (46,7%)	2 peserta (6,7%)	↓ -12
61 – 80	4 peserta (13,3%)	11 peserta (36,7%)	↑ +7
81 – 100	1 peserta (3,3%)	17 peserta (56,7%)	↑ +16
Rata-rata Skor	42,3	81,7	↑ +39,4

Peningkatan pengetahuan yang signifikan ini juga terlihat pada setiap aspek kompetensi yang diukur.

3.1.5 Hasil Evaluasi Kepuasan Peserta

Hasil kuesioner kepuasan peserta menggunakan skala Likert 1–5 menunjukkan tingkat kepuasan yang sangat tinggi terhadap seluruh aspek penyelenggaraan kegiatan. Rata-rata skor kepuasan keseluruhan mencapai 4,52 dari 5,00, yang masuk dalam kategori Sangat Puas. Rincian skor kepuasan per aspek ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Kuesioner Kepuasan Peserta

Aspek Penilaian	Rata-rata Skor	Kategori
Relevansi materi dengan kebutuhan peserta	4,73	Sangat Puas
Kemampuan dan penguasaan instruktur	4,67	Sangat Puas
Kejelasan penyampaian materi	4,50	Sangat Puas
Ketersediaan sarana dan prasarana	4,40	Puas
Kualitas modul dan bahan ajar	4,43	Puas
Manfaat pelatihan bagi pengembangan diri	4,77	Sangat Puas
Potensi penerapan ilmu setelah pelatihan	4,70	Sangat Puas
Pengelolaan waktu dan jadwal kegiatan	4,17	Puas
Rata-rata Keseluruhan	4,52	Sangat Puas

3.1.6 Hasil Identifikasi Peluang Usaha

Salah satu luaran tambahan yang dihasilkan dari kegiatan ini adalah teridentifikasinya peluang usaha kreatif berbasis teknologi hidroponik yang berpotensi dikembangkan oleh peserta setelah pelatihan. Berdasarkan hasil sesi diskusi kelompok pada akhir kegiatan, peserta mengidentifikasi beberapa model usaha yang dinilai relevan dan layak dikembangkan, di antaranya:

- Jasa pemasangan Smart Nutrition System
Layanan instalasi dan konfigurasi sistem otomatisasi hidroponik untuk petani atau pelaku usaha sayuran skala rumah tangga hingga komersial.
- Produksi dan penjualan sayuran hidroponik
Budidaya sayuran organik seperti selada, kangkung, dan bayam menggunakan sistem hidroponik otomatis untuk dijual ke pasar lokal, restoran, dan platform *e-commerce*.
- Pengembangan kit edukasi hidroponik
Pembuatan dan penjualan paket alat *Smart Nutrition System* dalam skala mini yang ditujukan untuk keperluan edukasi di sekolah maupun perguruan tinggi.
- Jasa pelatihan dan konsultasi hidroponik
Pembukaan layanan pelatihan hidroponik berbasis teknologi yang menargetkan masyarakat umum, petani, maupun pelaku UMKM di Sumatera Utara.

Sebanyak 76,7% peserta menyatakan berminat untuk menindaklanjuti salah satu dari model usaha di atas setelah kegiatan pelatihan selesai, dan 53,3% peserta menyatakan telah memiliki rencana konkret untuk memulai usaha berbasis hidroponik otomatis dalam kurun waktu enam bulan ke depan.

3.2 Diskusi

Secara keseluruhan, hasil kegiatan pengabdian ini menunjukkan bahwa pendekatan pelatihan teknis berbasis praktik langsung terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi peserta secara signifikan. Nilai *N-Gain* rata-rata sebesar 0,71 yang masuk dalam kategori sedang-tinggi mengonfirmasi bahwa metode pembelajaran yang diterapkan, yaitu kombinasi sosialisasi, pelatihan teknis, dan praktik lapangan, mampu menghasilkan peningkatan pengetahuan yang bermakna dalam waktu yang relatif singkat.

Keberhasilan seluruh kelompok dalam menyelesaikan perakitan dan pengujian prototipe *Smart Nutrition System* mengindikasikan bahwa teknologi berbasis ESP32 memiliki tingkat aksesibilitas yang tinggi bagi peserta yang sebelumnya belum memiliki pengalaman di bidang elektronika dan pemrograman. Hal ini sejalan dengan berbagai studi yang menyatakan bahwa platform ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang paling ramah bagi pemula namun tetap memiliki kapabilitas teknis yang mumpuni untuk pengembangan aplikasi IoT.

Tingkat kepuasan peserta yang mencapai 4,52 dari 5,00 merefleksikan keselarasan antara konten pelatihan dengan kebutuhan dan ekspektasi peserta. Aspek manfaat pelatihan bagi pengembangan diri mendapatkan skor tertinggi sebesar 4,77, yang mengindikasikan bahwa peserta merasakan nilai nyata dari ilmu dan keterampilan yang mereka peroleh selama kegiatan berlangsung. Sementara itu, aspek pengelolaan waktu mendapatkan skor relatif lebih rendah sebesar 4,17, yang menjadi catatan perbaikan bagi tim pelaksana untuk mengalokasikan waktu yang lebih longgar pada sesi praktik lapangan di kegiatan serupa di masa mendatang.

Antusiasme peserta terhadap peluang usaha berbasis hidroponik otomatis yang teridentifikasi dalam sesi diskusi kelompok mencerminkan potensi besar transformasi digital pertanian di kalangan mahasiswa. Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menegaskan bahwa pemberdayaan mahasiswa melalui pelatihan teknologi tepat guna dapat menjadi katalis yang efektif dalam mendorong lahirnya wirausahawan muda di bidang agribisnis.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat berupa Pelatihan Otomatisasi Pencampuran Nutrisi Hidroponik dengan Smart Nutrition System melalui Program BBPVP Medan telah berhasil dilaksanakan dengan baik dan mencapai seluruh tujuan yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan yang telah diuraikan secara komprehensif pada bagian sebelumnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut. Pertama, kegiatan pelatihan ini berhasil meningkatkan pengetahuan dan pemahaman peserta secara signifikan dalam bidang teknologi pertanian hidroponik modern berbasis otomatisasi. Hal ini dibuktikan oleh peningkatan rata-rata skor peserta dari 42,3 pada pre-test menjadi 81,7 pada post-test, dengan nilai N-Gain rata-rata sebesar 0,71 yang masuk dalam kategori sedang-tinggi. Peningkatan ini mencakup seluruh aspek kompetensi yang dilatihkan, meliputi konsep dasar hidroponik, pemrograman mikrokontroler ESP32, penggunaan sensor IoT, integrasi bot Telegram, dan manajemen nutrisi otomatis. Kedua, seluruh peserta berhasil memperoleh keterampilan teknis yang nyata dalam merancang dan merakit sistem Smart Nutrition System secara mandiri. Capaian ini dibuktikan dengan keberhasilan seluruh kelompok peserta dalam menyelesaikan perakitan enam unit prototipe Smart Nutrition System yang berfungsi penuh, mencakup integrasi mikrokontroler ESP32, sensor TDS, sensor ketinggian air, sensor suhu, dan sistem notifikasi real-time berbasis bot Telegram. Akurasi pembacaan sensor TDS yang dicapai rata-rata sebesar $\pm 2,8$ PPM menunjukkan bahwa sistem yang dibangun peserta memiliki kualitas teknis yang memadai untuk penerapan nyata di lapangan. Ketiga, metode pelaksanaan yang menggabungkan sosialisasi, pelatihan teknis, praktik lapangan, dan evaluasi terbukti efektif dalam memfasilitasi proses pembelajaran yang komprehensif dan bermakna bagi peserta. Tingkat kepuasan peserta yang mencapai rata-rata 4,52 dari skala 5,00 dengan kategori Sangat Puas mengonfirmasi bahwa pendekatan pembelajaran berbasis pengalaman langsung sangat sesuai diterapkan dalam program pelatihan vokasi teknologi tepat guna. Aspek manfaat pelatihan bagi pengembangan diri peserta mendapatkan skor tertinggi sebesar 4,77, yang mencerminkan relevansi tinggi antara konten pelatihan dengan kebutuhan peserta. Keempat, kegiatan ini berhasil menumbuhkan jiwa kewirausahaan peserta dalam bidang agribisnis berbasis teknologi. Sebanyak 76,7% peserta menyatakan minat untuk menindaklanjuti peluang usaha berbasis hidroponik otomatis, dan 53,3% peserta telah memiliki rencana konkret untuk memulai usaha dalam kurun waktu enam bulan ke depan. Empat model usaha potensial berhasil diidentifikasi bersama peserta, yaitu jasa pemasangan Smart Nutrition System, produksi dan penjualan sayuran hidroponik, pengembangan kit edukasi hidroponik, serta jasa pelatihan dan konsultasi hidroponik. Kelima, program kolaborasi antara BBPVP Medan dengan perguruan tinggi di Sumatera Utara terbukti menjadi model kemitraan yang strategis dan produktif dalam mendiseminasikan teknologi pertanian modern kepada generasi muda. Keterlibatan mahasiswa dan alumni dari tiga perguruan tinggi yang berbeda, yaitu Universitas Mahkota Tricom Unggul, Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah Medan, dan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, menciptakan sinergi pengetahuan lintas disiplin yang memperkaya proses pembelajaran selama kegiatan berlangsung. Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini memberikan dampak positif yang nyata bagi peserta, baik dalam dimensi peningkatan kompetensi teknis, penumbuhan motivasi berwirausaha, maupun penguatan kesadaran terhadap potensi teknologi IoT dalam mendukung ketahanan pangan lokal. Kegiatan ini juga menjadi bukti nyata bahwa transformasi digital sektor pertanian dapat dimulai dari pemberdayaan generasi muda melalui program pelatihan vokasi yang terstruktur, relevan, dan berbasis praktik.

Referensi

- [1] F. Hossain, M. R. Islam, dan M. A. Rahman, "Food security challenges and technological innovations in developing countries: A comprehensive review," *Food Policy*, vol. 112, hal. 102–115, Feb. 2023.
- [2] S. D. Prabhu dan R. K. Sharma, "Impact of climate change on agricultural productivity and food security: Evidence from South and Southeast Asia," *Agricultural Systems*, vol. 204, hal. 103–119, Apr. 2023.
- [3] M. A. Jamal, N. Fitriani, dan A. Kurniawan, "Inovasi teknologi pertanian dalam mendukung ketahanan pangan nasional: Tinjauan sistematis," *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 24, no. 1, hal. 45–58, Apr. 2023.
- [4] R. Sharma, P. Garg, dan S. Kumar, "Hydroponic systems for urban agriculture: A review of advances and applications," *Sustainability*, vol. 15, no. 4, hal. 3456–3471, Feb. 2023.
- [5] A. Putra, D. Rahmawati, dan B. Santoso, "Efisiensi penggunaan air pada sistem hidroponik NFT dan DFT untuk tanaman selada," *Jurnal Hortikultura Indonesia*, vol. 14, no. 2, hal. 89–101, Agu. 2023.
- [6] K. L. Nguyen dan T. H. Pham, "Nutrient management strategies in hydroponic systems: Effects on plant growth and yield quality," *Scientia Horticulturae*, vol. 310, hal. 111–125, Mar. 2023.
- [7] H. M. El-Sherif dan A. M. Abdelaziz, "Precision nutrient management in hydroponic lettuce production using automated dosing systems," *Journal of Plant Nutrition*, vol. 46, no. 8, hal. 1523–1537, 2023.
- [8] W. Prabowo dan S. Hidayat, "Pengaruh konsentrasi larutan nutrisi terhadap pertumbuhan dan hasil panen tanaman bayam merah (*Amaranthus tricolor*) secara hidroponik," *Agritech*, vol. 43, no. 1, hal. 34–45, Feb.

- 2023.
- [9] R. T. Mulyani, A. Fauzi, dan D. Setiawan, "Analisis kesalahan manusia dalam pengelolaan nutrisi hidroponik manual dan dampaknya terhadap produktivitas," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 28, no. 3, hal. 221–232, Sep. 2023.
- [10] C. Zhang, Y. Liu, dan W. Chen, "Automated nutrient solution management for hydroponic systems: A systematic review," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 206, hal. 107–123, Mar. 2023.
- [11] M. R. Fahmi, I. Pratama, dan H. Santoso, "Implementasi Internet of Things (IoT) dalam sistem pertanian cerdas: Kajian literatur dan tren penelitian," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 12, no. 2, hal. 78–94, Jun. 2023.
- [12] L. Pratiwi dan A. Wibowo, "Pengembangan sistem monitoring pertanian berbasis ESP32 dan MQTT protocol," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 23, no. 1, hal. 12–24, Apr. 2023.
- [13] B. K. Singh, R. Verma, dan P. Mishra, "ESP32-based smart hydroponics monitoring and control system with cloud integration," *IEEE Access*, vol. 11, hal. 45123–45138, 2023.
- [14] A. D. Kurnia, M. Firdaus, dan R. Hidayah, "Rancang bangun sistem sensor terintegrasi untuk monitoring parameter larutan nutrisi hidroponik secara real-time," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 19, no. 2, hal. 103–115, Agu. 2023.
- [15] T. Gunawan dan S. Permatasari, "Implementasi sensor TDS, pH, dan suhu dalam pengendalian kualitas larutan nutrisi pada sistem hidroponik otomatis," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 12, no. 3, hal. 187–198, Sep. 2023.
- [16] O. A. Adeyemi, B. O. Adeleke, dan E. O. Ogundele, "Real-time automated control of hydroponic nutrient solution using microcontroller-based system," *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 39, no. 2, hal. 215–228, Apr. 2023.
- [17] R. Nugroho, F. Andriani, dan D. Kusuma, "Sistem notifikasi berbasis bot Telegram untuk pemantauan kondisi tanaman hidroponik menggunakan ESP32," *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 9, no. 1, hal. 55–67, Mar. 2024.
- [18] P. Sari, M. Yoga, dan A. Baskoro, "Integrasi platform Telegram dalam sistem IoT pertanian: Studi kasus monitoring greenhouse berbasis ESP32," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 10, no. 2, hal. 112–125, Jun. 2024.
- [19] I. Mansoor, M. J. Iqbal, dan F. Ahmad, "Telegram bot integration for remote monitoring of smart agricultural systems: Performance analysis and user experience," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 14, no. 5, hal. 320–331, 2023.
- [20] D. Suryani, E. Prasetyo, dan N. Kusumawati, "Peran pelatihan berbasis teknologi dalam meningkatkan kompetensi sumber daya manusia di sektor pertanian: Studi di Jawa Tengah," *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, vol. 31, no. 1, hal. 67–82, Jan. 2023.
- [21] A. Lubis dan M. Siregar, "Evaluasi efektivitas program pelatihan vokasi pertanian modern di Sumatera Utara," *Jurnal Pendidikan Vokasi*, vol. 13, no. 2, hal. 145–160, Mei 2023.
- [22] H. Ramadhan, I. Syahputra, dan F. Nasution, "Kolaborasi perguruan tinggi dan lembaga pelatihan vokasi dalam pengembangan kompetensi mahasiswa bidang teknologi pertanian," *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 9, no. 3, hal. 201–215, Sep. 2023.
- [23] Y. Anggraeni dan B. Prasetyo, "Peran mahasiswa sebagai agen inovasi dalam pengembangan agribisnis berbasis teknologi di era revolusi industri 4.0," *Jurnal Agribisnis Indonesia*, vol. 11, no. 2, hal. 133–148, Des. 2023.
- [24] M. Harahap, R. Daulay, dan S. Nasution, "Potensi pengembangan usaha hidroponik berbasis teknologi di kalangan mahasiswa Sumatera Utara," *Jurnal Kewirausahaan dan Bisnis*, vol. 28, no. 1, hal. 77–91, Apr. 2024.
- [25] E. Wahyuni, T. Rahayu, dan M. Haryanto, "Efektivitas metode pelatihan teknis berbasis praktik lapangan dalam program pengabdian kepada masyarakat bidang pertanian," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkarya*, vol. 7, no. 2, hal. 88–102, Jun. 2024.
- [26] N. Alamsyah, D. Putra, dan R. Firmansyah, "Transformasi digital pertanian melalui program pemberdayaan mahasiswa berbasis IoT dan smart farming: Peluang dan tantangan," *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, vol. 10, no. 1, hal. 1–15, Mar. 2024.