

Implementasi Alat Ukur Nutrisi Tanah dan Tanaman Cabai di Desa Limpok, Aceh Besar

Hubbul Walidainy¹, Melinda², Muhammad Iqbal Maulana³, Aulia Rahman⁴, Nizam Albar⁵, dan Ilham Achmad⁶
^{1,2,3,4,5}, Departemen Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala

⁶Departemen Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala
Jln Syeh Abdurrauf no 7, Darussalam, Banda Aceh

e-mail: ¹hwalidainy@usk.ac.id; ²melinda@usk.ac.id; ³maulanab20@mhs.usk.ac.id; ⁴aurahmn@usk.ac.id;
⁵niz4m.a@mhs.usk.ac.id; ⁶Ilham_ac@mhs.usk.ac.id

Abstrak— Cabai merupakan salah satu komoditas penting di Indonesia yang memiliki dampak signifikan terhadap perekonomian, terutama dalam mempengaruhi tingkat inflasi. Dengan meningkatnya permintaan cabai setiap tahun, efisiensi dalam budidaya cabai menjadi sangat krusial. Penelitian ini bertujuan mengembangkan teknologi pengukuran nutrisi tanah dan tanaman cabai berbasis sensor untuk membantu petani meningkatkan efisiensi dan hasil panen. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor pH, konduktivitas listrik, serta sensor spektral untuk memantau nutrisi tanah dan daun cabai, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Data yang diperoleh dari sensor ini dikirimkan ke cloud untuk analisis lebih lanjut, yang hasilnya dapat diakses oleh petani melalui aplikasi mobile. Pengujian dilakukan di Desa Limpok, Kabupaten Aceh Besar, dengan menggunakan purwarupa alat yang telah dirancang. Hasil uji menunjukkan bahwa alat ini mampu memberikan pengukuran yang akurat dan mendekati hasil uji laboratorium. Aplikasi mobile yang dikembangkan juga memudahkan petani dalam memantau kondisi tanaman secara real-time, sehingga pemupukan dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien. Dengan inovasi ini, diharapkan produktivitas cabai dapat meningkat dan biaya produksi dapat dikurangi, khususnya bagi petani di Desa Limpok dan sekitarnya.

Kata kunci: *nutrisi tanah, tanaman cabai, pengukuran spektral, aplikasi mobile, sistem cloud.*

Abstract— Chili peppers are one of Indonesia's key commodities, significantly impacting the economy, particularly by influencing inflation rates. With the increasing demand for chili peppers each year, improving efficiency in chili cultivation has become crucial. This study aims to develop a sensor-based technology for measuring soil and plant nutrients to help farmers enhance efficiency and yield. The system uses pH sensors, electrical conductivity sensors, and spectral sensors to monitor soil and chili plant leaf nutrients such as nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K). Data collected from these sensors is transmitted to the cloud for further analysis, which can be accessed by farmers through a mobile application. The prototype was tested in Limpok Village, Aceh Besar Regency, using the designed tools. The test results show that the system provides accurate measurements, closely matching laboratory tests. The mobile application also facilitates real-time monitoring of plant conditions, enabling more precise fertilization. With this innovation, it is hoped that chili farming productivity will increase while reducing production costs, particularly for farmers in Limpok Village and the surrounding areas.

I. PENDAHULUAN

Cabai merupakan salah satu tanaman dari genus *Capsicum* sp. yang paling banyak dibudidayakan di dunia dan memiliki status sebagai komoditas strategis nasional karena perubahan harga cabai dapat memberikan dampak signifikan terhadap tingkat inflasi [1], [2]. Kebutuhan cabai terus meningkat setiap tahunnya seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan berkembangnya industri yang membutuhkan cabai. Berdasarkan data estimasi pertengahan tahun jumlah penduduk (2020-2023), total konsumsi cabai merah di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 490,83 ribu ton. Angka ini menunjukkan peningkatan sebesar 9,94% dibandingkan dengan konsumsi pada tahun 2020, dan menjadi tingkat konsumsi tertinggi dalam kurun waktu lima tahun terakhir [3].

Penggunaan sumber daya pertanian secara berlebihan dapat mengakibatkan peningkatan biaya produksi dan penurunan pendapatan pertanian jika biaya tambahan yang

dikeluarkan lebih tinggi daripada tambahan pendapatan atau dikenal dengan istilah *The Law of Diminishing Return* [4]. Oleh karena itu diperlukan strategi untuk mengurangi beban modal dalam budidaya tanaman cabai dengan meningkatkan efisiensi penggunaannya, serta meningkatkan hasil panen dalam pertanian lokal.

Pengembangan teknologi pengukuran nutrisi seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) pada daun cabai menjadi sangat penting, bersama dengan pengukuran parameter lain seperti pH dan konduktivitas listrik tanah. Teknologi ini diperlukan untuk memberikan informasi yang akurat mengenai kondisi nutrisi dan kesuburan tanah, sehingga petani dapat melakukan tindakan yang tepat dalam pemupukan dan pengelolaan tanah.

II. METODE PELAKSANAAN

A. Tempat Pelaksanaan

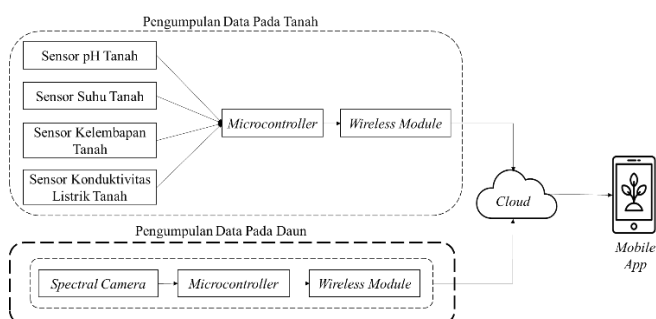
Desa Limpok dipilih sebagai lokasi implementasi proyek ini. Secara geografis, Desa Limpok terletak di sebelah Selatan Desa Cot Cut, di sebelah Utara Kampus Universitas Syiah Kuala (USK), sebelah Timur Desa Berabung, dan sebelah Barat berbatasan dengan Krueng Aceh (sungai Aceh). Desa ini merupakan kawasan pedesaan dengan karakter agraris, di mana sebagian besar penduduknya menggantungkan mata pencaharian pada sektor peternakan, pertanian, dan perkebunan. Selain itu, beberapa penduduk juga mengandalkan hasil olahan produk pertanian dan perkebunan sebagai sumber penghasilan tambahan [6].

Lahan yang digunakan untuk implementasi proyek ini memiliki luas 24 x 17 meter, yang cukup untuk pengujian berbagai teknologi pengukuran dan pemantauan nutrisi tanaman serta kondisi tanah yang diintegrasikan dalam sistem berbasis cloud. Gambar 1 menunjukkan lahan implementasi yang dipilih untuk proyek ini. Lahan ini merupakan lahan yang dikelola oleh bapak Sulaiman selaku petani setempat.



Gambar 1. Lahan Implementasi

B. Skema Perancangan Alat



Gambar 2. Skema rancangan alat

Berdasarkan Gambar 2, terdapat dua model akuisisi data yang akan dilakukan. Bagian pertama adalah akuisisi data nutrisi tanah, yang menggunakan gabungan sensor pH, suhu, kelembapan, dan konduktivitas listrik. Tujuan penggunaan kombinasi sensor ini adalah untuk mencari karakteristik pada tanah yang diuji. Keempat sensor tersebut akan dikendalikan oleh mikrokontroler, yang kemudian akan

mengirimkan data yang diperoleh ke *cloud* melalui modul *Wi-Fi* untuk proses analisis lebih lanjut.

Bagian kedua adalah akuisisi data nutrisi tanaman yang dilakukan pada daun menggunakan sensor spektral yang dilengkapi dengan lampu LED. Dalam model ini, cahaya ditembakkan dari tiga LED, yaitu LED UV, cahaya tampak, dan *near infrared*. Sebagian cahaya ini akan diserap oleh daun, sementara sebagian lainnya akan dipantulkan kembali. Pantulan cahaya yang diterima akan diserap oleh sensor, dan nilai yang dihasilkan dari sensor tersebut kemudian dikirimkan ke mikrokontroler. Setelah itu, data tersebut akan diunggah ke *cloud* melalui koneksi *Wi-Fi* untuk analisis lebih lanjut.

C. Kalibrasi Sensor

Terdapat tiga sensor utama yang perlu dikalibrasi dalam proyek ini untuk memastikan akurasi pengukuran data nutrisi dan kondisi tanah.

Sensor pH dikalibrasi menggunakan metode *two-point calibration*, yang dilakukan dengan larutan standar pH 4.0 dan pH 7.0. Metode kalibrasi dua titik ini memungkinkan sensor untuk mengukur rentang nilai pH dengan lebih akurat, karena dua titik referensi memberikan tolok ukur untuk menyesuaikan *output* sensor pada berbagai level keasaman. Secara matematis, metode *two-point calibration* ini dapat dirumuskan menggunakan persamaan 1 [7].

$$PH_{sensor} = m \cdot V + b \quad (1)$$

di mana V adalah tegangan keluaran dari sensor, m adalah gradien atau kemiringan dari garis kalibrasi (yang dihitung dari dua titik kalibrasi), dan b adalah *offset* dari sensor.

Sensor *Electric Conductive* (EC) dikalibrasi menggunakan metode *single-point calibration*. Proses kalibrasi dilakukan dengan mengacu pada larutan standar dengan nilai EC sebesar 2.88 mS/cm. Metode kalibrasi satu titik ini memberikan referensi dasar yang digunakan untuk menyesuaikan sensor terhadap nilai konduktivitas listrik di lapangan. Rumus yang digunakan dalam kalibrasi ini ditunjukkan pada persamaan 2 [7].

$$EC_{sensor} = k \cdot V \quad (2)$$

di mana k adalah konstanta kalibrasi yang dihitung berdasarkan pengukuran pada satu titik referensi (EC 2.88 mS/cm), dan V adalah tegangan keluaran sensor.

Sensor spektral dikalibrasi menggunakan metode *ridge regression*, yang mengandalkan data pengukuran spektral langsung dari lahan implementasi. *Ridge regression* merupakan metode regresi linier yang mengatasi multikolinearitas dalam data dengan menambahkan penalti pada besar koefisien regresi. Persamaan 3 merupakan rumus untuk *ridge regression* [8].

$$\beta = (X^T X + \lambda I)^{-1} X^T y \quad (3)$$

di mana β adalah vektor koefisien yang ingin diprediksi, X adalah matriks fitur dari data spektral, y adalah nilai target

(nutrisi tanaman), λ adalah parameter regulasi untuk mengontrol kompleksitas model, dan I adalah matriks identitas. Metode ini digunakan untuk menyesuaikan sensor spektral berdasarkan data riil yang diambil di lahan implementasi, sehingga hasil pengukurannya lebih akurat dalam mengestimasi nutrisi tanaman cabai.

D. Uji Laboratorium dan Evaluasi Alat



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Sampel daun cabai, (b) Sampel tanah

Untuk memastikan tingkat akurasi alat yang telah dirancang, pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran alat dengan hasil uji laboratorium yang telah memiliki standarisasi. Uji ini akan dilakukan dengan menggunakan sampel yang terdiri dari 8 sampel daun cabai dan 4 sampel tanah. Pada sampel tanah, parameter yang akan diukur meliputi nilai pH H₂O dan Daya Hantar Listrik (DHL), yang penting untuk menentukan kondisi kesuburan tanah dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Sedangkan pada sampel daun cabai, fokus pengujian akan tertuju pada kandungan nutrisi esensial seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang merupakan faktor penting dalam pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Gambar 3 merupakan gambar sampel yang diambil dari lokasi implementasi. Pengujian dilakukan di Laboratorium Penelitian Tanah dan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil rancangan purwarupa



Gambar 4. Purwarupa akuisisi data tanah

Bentuk purwarupa akuisisi data tanah yang digunakan dalam proyek ini dapat dilihat pada Gambar 4. Purwarupa ini dirancang dengan fitur-fitur utama yang memungkinkan pengguna untuk memperoleh informasi secara langsung di lapangan. Pada bagian depan purwarupa, terdapat layar LCD yang berfungsi untuk menampilkan data hasil pengukuran kondisi tanah secara *real-time*, seperti tingkat keasaman (pH) dan Daya Hantar Listrik (DHL). LCD ini menggunakan protokol komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*) yang terhubung ke mikrokontroler, memungkinkan pengiriman data yang lebih efisien dan pengurangan jumlah pin yang digunakan.

Selain itu, purwarupa ini juga dilengkapi dengan joystick sebagai media interaksi antara pengguna dan mikrokontroler. Pengguna dapat menggunakan joystick ini untuk menavigasi menu, mengatur pengaturan alat, atau memilih parameter pengukuran yang ingin ditampilkan. Untuk sensor-sensor lainnya, seperti sensor pH dan sensor DHL, sinyal keluarannya berbentuk analog yang dihubungkan ke mikrokontroler melalui pin ADC (*Analog-to-Digital Converter*). Dengan desain ini, mikrokontroler dapat mengolah sinyal analog dari sensor untuk dikonversi menjadi data digital yang kemudian ditampilkan di layar LCD.

Purwarupa ini juga didesain untuk memungkinkan transmisi data ke *cloud* melalui komunikasi *wi-fi*. Hasil pengukuran dapat diakses secara *real-time* di *smartphone*, sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanah dengan lebih mudah dan fleksibel.

Tabel 1 merupakan perbandingan hasil akuisisi alat dan uji laboratorium pada sampel tanah untuk pH H₂O, sementara, Tabel 2 untuk konduktivitas listrik.

Tabel 1. Perbandingan pH uji laboratorium dan alat.

Uji Laboratorium	Akuisisi Alat	% dari span*
5,99	6,7	5,07 %
6,25	5,86	2,7 %
6,04	6,43	2,78 %
6,39	6,27	0,85%

*span untuk pH adalah 12.

Tabel 2. Perbandingan DHL uji laboratorium dan alat.

Uji Laboratorium	Akuisisi Alat	% dari span*
0,19	0,17	0.1%
0,07	0,1	0.15%
0,14	0,22	0.4%
0,07	0,15	0.4%

*span untuk DHL adalah 20 ms/cm.



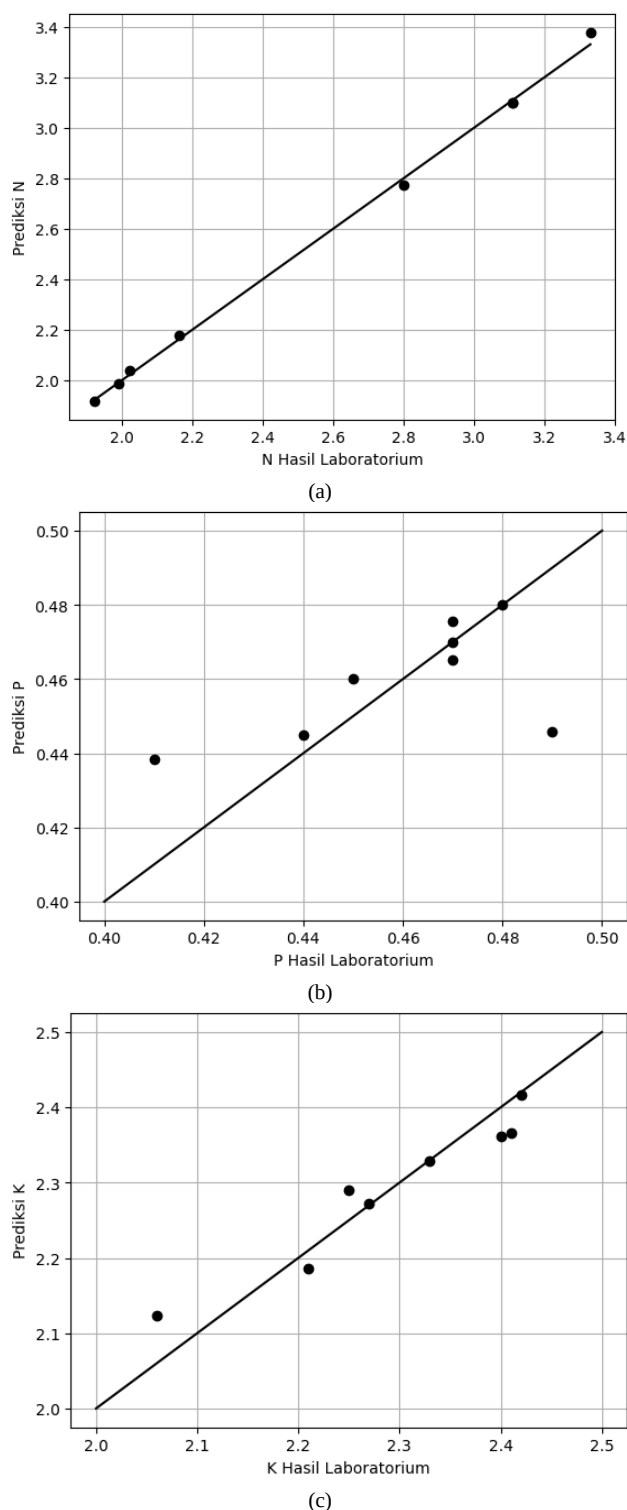
Gambar 5. Purwarupa akuisisi data daun.

Purwarupa untuk pengukuran nutrisi pada tanaman dapat dilihat pada Gambar 5, di mana perangkat ini juga dilengkapi dengan layar LCD dan *joystick* sebagai antarmuka pengguna. Komunikasi antar mikrokontroler dan layer LCD juga menggunakan protocol I2C. Layar LCD digunakan untuk menampilkan informasi mengenai status alat dan data sementara, sementara *joystick* berfungsi sebagai alat kontrol untuk navigasi dan pengaturan alat.

Sensor utama yang digunakan dalam purwarupa ini adalah sensor spektral, yang mampu menangkap berbagai spektrum cahaya, termasuk *ultraviolet* (UV), cahaya tampak, dan *near-infrared* (NIR). Sensor spektral ini dirancang untuk mengukur kandungan cahaya yang diserap dan dipantulkan oleh daun tanaman. Spektrum yang berbeda memungkinkan identifikasi berbagai nutrisi, seperti tingkat nitrogen, fosfor, dan kalium. Sensor ini juga menggunakan protokol I2C untuk komunikasi antara sensor dan mikrokontroler.

Data yang diperoleh dari sensor spektral ini kemudian dikirimkan ke cloud melalui koneksi *wi-fi*, di mana analisis lebih lanjut akan dilakukan menggunakan ridge regression. Metode ini digunakan untuk memprediksi kandungan nutrisi daun berdasarkan data spektrum yang diperoleh. Setelah analisis selesai di *cloud*, hasil perhitungan yang menunjukkan kondisi nutrisi tanaman akan dikirim kembali dan ditampilkan di aplikasi *smartphone* pengguna.

Gambar 6 merupakan grafik perbandingan antara hasil uji laboratorium dan prediksi nutrisi untuk tanaman.



Gambar 6. (a) Perbandingan nutrisi Nitrogen, (b) Fosfor, dan (c) Kalium.

Gambar 6 terdiri dari tiga grafik yang menunjukkan perbandingan antara hasil laboratorium dengan prediksi model untuk tiga jenis nutrisi: Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing grafik:

1. Gambar (a): Grafik ini menunjukkan hubungan antara hasil laboratorium Nitrogen (N) pada sumbu x dan prediksi model pada sumbu y. Titik-titik data berada di sekitar garis diagonal ($y = x$), menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi tinggi dalam

memprediksi nilai N. Hal ini menandakan bahwa nilai prediksi mendekati nilai hasil laboratorium.

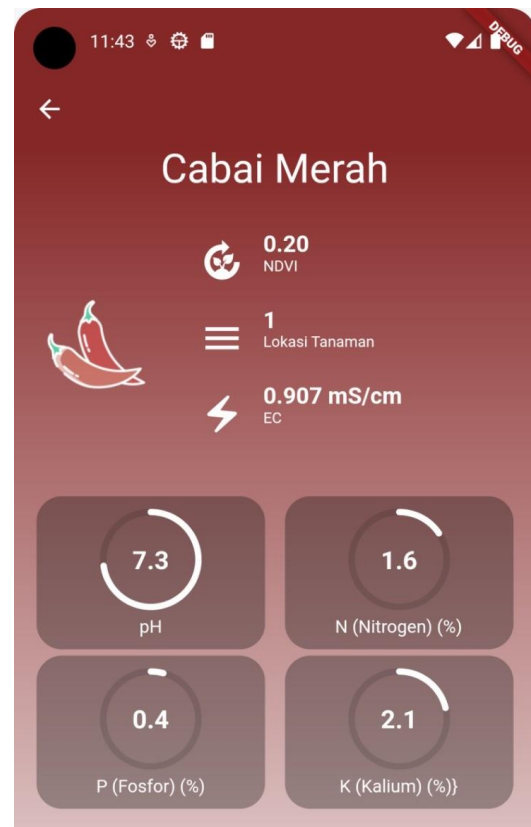
2. Gambar (b): Grafik ini menampilkan hubungan antara hasil laboratorium Fosfor (P) pada sumbu x dan prediksi model pada sumbu y. Meskipun terdapat beberapa penyimpangan dari garis diagonal, mayoritas titik data menunjukkan hasil prediksi yang cukup akurat terhadap hasil laboratorium. Penyimpangan ini mengindikasikan adanya potensi bias atau kesalahan model dalam memprediksi nilai P.
3. Gambar (c): Grafik ini memperlihatkan hubungan antara hasil laboratorium Kalium (K) pada sumbu x dan prediksi model pada sumbu y. Titik-titik data cenderung berada di sekitar garis diagonal, yang menunjukkan bahwa model dapat memprediksi nilai K dengan baik. Korelasi yang tinggi diindikasikan oleh distribusi data yang dekat dengan garis $y = x$.

Secara keseluruhan, ketiga grafik menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang baik dalam memprediksi kadar nutrisi N, P, dan K berdasarkan hasil laboratorium, meskipun terdapat beberapa penyimpangan kecil, terutama pada Fosfor (P). Hal ini mengindikasikan bahwa model dapat digunakan untuk estimasi kadar nutrisi dengan tingkat keakuratan yang memadai.

B. Hasil rancangan Mobile App

Gambar 7 menampilkan antarmuka *mobile app* yang telah dirancang untuk membantu pengguna dalam memantau kondisi tanaman cabai secara real-time. Aplikasi ini pertama-tama menampilkan lokasi tanaman, memungkinkan petani untuk melacak posisi spesifik dari tanaman yang diukur di kebun mereka. Informasi ini memudahkan pengelolaan kebun secara terperinci dan efisien. Aplikasi ini menyediakan data pH tanah, yang sangat penting untuk mengetahui tingkat keasaman tanah dan bagaimana hal ini memengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman, dan EC yang memberikan petani informasi tentang daya hantar listrik dalam tanah, yang berkaitan erat dengan konsentrasi mineral atau garam yang dapat memengaruhi kesuburan tanah.

Aplikasi ini juga menyajikan nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), yang digunakan untuk menilai kesehatan tanaman berdasarkan pantulan cahaya inframerah dan cahaya tampak. Nilai NDVI yang lebih tinggi menunjukkan tanaman yang lebih sehat dan produktif. Terakhir, aplikasi ini menampilkan presentase nutrisi NPK (Nitrogen, Fosfor, Kalium) yang ada di dalam tanaman cabai, sehingga petani dapat menentukan kebutuhan pemupukan dengan lebih tepat dan akurat.



Gambar 7. Antarmuka *mobile app*

C. Sosialisasi Penggunaan Alat ke Petani

Setelah tahap pengembangan purwarupa dan aplikasi *mobile* selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan sosialisasi penggunaan alat kepada petani di Desa Limpok, Aceh Besar. Sosialisasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa petani setempat dapat memanfaatkan alat tersebut secara optimal dalam kegiatan pertanian sehari-hari. Kegiatan sosialisasi meliputi pelatihan praktis tentang cara mengoperasikan alat, termasuk cara menggunakan sensor pada tanaman, membaca hasil pengukuran melalui aplikasi *mobile*, seperti diperlihatkan pada Gambar 8.

Dalam sosialisasi ini, petani juga diajarkan cara mengoperasikan dan merawat alat, mengatasi masalah teknis sederhana, dan memanfaatkan fitur aplikasi yang memungkinkan petani memantau kondisi tanaman secara *real-time*. Tim pengembang memberikan pendampingan langsung di lapangan, mendampingi petani dalam menguji coba alat secara langsung pada lahan cabai petani. Selain itu, sesi diskusi dan tanya jawab disediakan untuk menjawab berbagai pertanyaan dan kekhawatiran petani terkait penggunaan teknologi ini. Dengan sosialisasi ini, diharapkan para petani dapat lebih percaya diri dan mahir menggunakan alat tersebut, sehingga produktivitas cabai dapat meningkat secara signifikan dan penggunaan pupuk menjadi lebih efektif dan efisien.



(a)



(b)

Gambar 8. (a) Sosialisasi penggunaan mobile app, dan (b) penggunaan purwarupa.

IV. KESIMPULAN

Purwarupa alat pengukur nutrisi tanah dan tanaman yang terintegrasi dengan aplikasi *mobile* telah berhasil dikembangkan. Keberhasilan alat ini diharapkan dapat membantu petani dalam memantau kondisi tanaman serta menimbang takaran pupuk secara akurat. Dengan demikian, pengelolaan nutrisi dapat dilakukan secara lebih efektif,

yang pada gilirannya dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Inovasi ini diharapkan memberikan dampak positif terhadap kesejahteraan petani di Desa Limpok, Aceh Besar.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada bapak Sulaiman, petani mitra, yang telah memberikan dukungan yang berharga dalam proyek ini, serta kepada mahasiswa yang telah berkontribusi dalam perancangan alat. Tanpa kerja sama dan dedikasi dari semua pihak, keberhasilan proyek ini tidak akan tercapai.

REFERENSI

- [1] T. Stan, N. Munteanu, G.C. Teliban, A. Cojocaru, and V. Stoleru, "Fertilization Management Improves the Yield and Capsaicinoid Content of Chili Peppers," *Agriculture*, vol. 11, no. 2, 2021.
- [2] S. Saptana, E. Ariningsih, A. Ashari, E. Gunawan, A. D. Perwita, S. G. Sukmaya, H. P. Saliem, H. J. Purba, K. S. Indraningsih, A. D. Pitaloka, and N. Q. Hayati, "Competitiveness and Impact of Government Policy on Chili in Indonesia", *Open Agriculture*, vol. 7, no. 1, pp. 226-237, 2022.
- [3] V. B. Kusnandar. (View Oct. 2024). Konsumsi Cabai Merah Meningkat 9,94% pada 2021 [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/agroindustri/statistik/dd5c6d83ad343dd/konsumsi-cabai-merah-meningkat-994-pada-2021>.
- [4] M. T. Sundari, Darsono, J Sutrisno, and E Antriandarti, "Analysis of chili farming in Indonesia," *IOP conference series. Earth and environmental science*, vol. 905, no. 1, 2021.
- [5] E. Maftu'ah, A. Susilawati, and A. Hayati, "Effectiveness of ameliorant and fertilizer on improving soil fertility, growth and yields of red chili in degraded peatland," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 393, no. 1, 2019.
- [6] Anonymous. (View Oct. 2024). Geografis Gampong [Online]. Available: <https://limpok.gampong.id/halaman/geografis-gampong>.
- [7] B. Earl. (View Oct. 2024). Calibrating Sensors [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/calibrating-sensors>.
- [8] W. N. van Wieringen, "Lecture notes on ridge regression," *arXiv.org*, Jun. 27, 2023. <https://arxiv.org/abs/1509.09169>.