

PENGEMBANGAN ALAT PENDETEKSI KUALITAS TANAH PORTABEL BAGI PETANI DESA

Riski Josua Pangaribuan¹, Rendy Pratama Sihombing², Menna Mahayuda Ginting³,
Desman Jonto Sinaga⁴
riskipangaribuan2@gmail.com¹, rendioppo888awk@gmail.com²,
mennamahayudaginting@gmail.com³
Universitas Negeri Medan

ABSTRAK

Pertanian modern membutuhkan dukungan teknologi dalam rangka meningkatkan efisiensi dan produktivitas, khususnya di wilayah pedesaan yang masih minim akses terhadap alat ukur kualitas tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat pendeteksi kualitas tanah portabel yang mampu mengukur parameter pH, kelembaban, dan suhu tanah secara real-time. Pemilihan topik ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan petani terhadap data kondisi tanah yang akurat dan mudah diakses agar dapat menentukan strategi budidaya yang tepat. Metode penelitian yang digunakan meliputi perancangan perangkat berbasis mikrokontroler Arduino Uno, integrasi dengan sensor pH, sensor kelembaban, dan sensor suhu DS18B20, serta pengujian terhadap akurasi alat dengan membandingkannya terhadap alat laboratorium standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat mampu memberikan tingkat akurasi antara 95% hingga 98% untuk ketiga parameter yang diukur. Selain itu, alat ini mudah digunakan oleh petani dan memiliki bentuk portabel yang mendukung fleksibilitas penggunaan di lapangan. Hasil ini menunjukkan potensi besar dari alat dalam meningkatkan kualitas pengelolaan lahan dan hasil pertanian, khususnya bagi petani desa. Pengembangan lebih lanjut disarankan untuk menambahkan fitur penyimpanan data dan konektivitas nirkabel. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa alat yang dikembangkan dapat menjadi solusi inovatif dan aplikatif dalam mendukung pertanian berbasis data di tingkat lokal.

Kata Kunci: Pendeteksi Tanah, Sensor Ph, Kelembaban Tanah, Mikrokontroler Arduino, Pertanian Presisi.

ABSTRACT

Modern agriculture requires technological support to improve efficiency and productivity, particularly in rural areas with limited access to soil quality measurement tools. This research aims to develop a portable soil quality detection device capable of measuring pH, moisture, and soil temperature in real time. The selection of this topic is based on farmers' need for accurate and accessible soil condition data to determine appropriate cultivation strategies. The research method includes designing a microcontroller-based device using Arduino Uno, integrating it with pH sensors, moisture sensors, and DS18B20 temperature sensors, and testing the device's accuracy by comparing it with laboratory-standard tools. The results show that the device can provide an accuracy rate of 95% to 98% across all measured parameters. Moreover, the device is easy to use and has a portable form factor that supports field mobility. These results demonstrate the significant potential of the device in improving land management and agricultural outcomes, especially for village farmers. Further development is suggested to incorporate data storage features and wireless connectivity. The conclusion of this study is that the developed tool can be an innovative and practical solution to support data-driven agriculture at the local level.

Keywords: Soil Detector, Ph Sensor, Soil Moisture, Arduino Microcontroller, Precision Agriculture.

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor krusial dalam menunjang ketahanan pangan dan kesejahteraan ekonomi masyarakat desa di Indonesia. Salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan produksi pertanian adalah kualitas tanah. Tanah yang subur dan memiliki kandungan unsur hara yang cukup dapat menunjang pertumbuhan tanaman secara optimal. Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa banyak petani di pedesaan masih mengandalkan pengalaman dan pengetahuan turun-temurun dalam menentukan kesuburan tanah, tanpa didukung data ilmiah atau alat bantu yang memadai (Hidayat, 2020). Hal ini berdampak pada ketidaktepatan dalam penggunaan pupuk dan pemilihan jenis tanaman, yang akhirnya menyebabkan hasil panen yang tidak maksimal.

Permasalahan utama yang dihadapi petani desa saat ini adalah keterbatasan akses terhadap informasi kualitas tanah secara cepat dan akurat. Pengujian tanah umumnya dilakukan melalui laboratorium pertanian yang berada jauh dari lokasi pertanian dan memerlukan waktu serta biaya yang tidak sedikit (Siregar & Rahayu, 2021). Kondisi ini menjadi tantangan tersendiri, terutama bagi petani kecil yang memiliki keterbatasan sumber daya. Oleh karena itu, diperlukan sebuah inovasi teknologi yang mampu memberikan informasi kualitas tanah secara cepat, murah, dan mudah digunakan oleh petani di lapangan.

Pengembangan alat pendeteksi kualitas tanah portabel merupakan salah satu solusi potensial untuk mengatasi permasalahan tersebut. Alat ini diharapkan dapat mengukur parameter-parameter penting seperti kadar pH tanah, kelembaban, suhu, serta kandungan unsur hara tertentu secara langsung di lokasi pertanian. Dengan alat ini, petani dapat melakukan evaluasi kondisi tanah sebelum menanam, sehingga dapat menentukan strategi pengelolaan tanah dan tanaman secara lebih tepat (Fauzan, dkk 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengembangkan alat pendeteksi tanah, baik dengan menggunakan sensor digital maupun sistem berbasis mikrokontroler. Penelitian oleh Rahman, dkk (2022) mengembangkan alat berbasis Arduino yang dapat mengukur pH dan kelembaban tanah, namun alat tersebut belum sepenuhnya portabel dan masih memerlukan daya listrik eksternal. Penelitian lain oleh Wulandari dan Nugroho (2021) mencoba mengembangkan sistem monitoring kualitas tanah berbasis Internet of Things (IoT), namun pemanfaatannya lebih cocok untuk skala industri pertanian modern dan belum ramah bagi petani desa yang belum familiar dengan teknologi digital kompleks.

Dengan demikian, masih terdapat celah pengembangan untuk menciptakan alat pendeteksi kualitas tanah yang benar-benar portabel, hemat energi, mudah digunakan, serta memiliki harga terjangkau bagi petani desa. Alat ini harus mampu menjembatani kesenjangan antara teknologi modern dan kebutuhan petani tradisional. Inovasi ini tidak hanya membantu dalam pengambilan keputusan pertanian yang berbasis data, tetapi juga dapat menjadi bagian dari upaya transformasi digital sektor pertanian di tingkat lokal.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat pendeteksi kualitas tanah portabel yang sesuai dengan kondisi dan kebutuhan petani desa. Diharapkan, hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan produktivitas pertanian melalui pendekatan teknologi yang aplikatif dan berkelanjutan.

Landasan Teori

Teori Kualitas Tanah

Kualitas tanah merupakan kemampuan tanah untuk menjalankan fungsi ekosistem seperti mendukung produktivitas tanaman, mempertahankan kualitas lingkungan, serta mendukung kehidupan manusia dan organisme lainnya. Menurut Hardjowigeno (2007),

kualitas tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik, kimia, dan biologis. Faktor fisik meliputi tekstur, struktur, dan kelembaban tanah, sedangkan faktor kimia meliputi pH, kandungan unsur hara, serta kapasitas tukar kation (KTK). Aspek biologis mencakup keberadaan mikroorganisme tanah yang berperan dalam dekomposisi dan siklus hara.

Dalam konteks pertanian, kualitas tanah sangat menentukan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman. Tanah yang memiliki pH seimbang, kelembaban optimal, dan kandungan hara yang cukup akan meningkatkan pertumbuhan tanaman dan hasil panen. Oleh karena itu, pengukuran kualitas tanah secara berkala sangat penting untuk pengambilan keputusan dalam praktik budidaya pertanian (Soemarno, 2010).

Konsep Teknologi Tepat Guna

Teknologi Tepat Guna (TTG) adalah teknologi yang dirancang agar sesuai dengan kebutuhan, kondisi sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat lokal. Teknologi ini bersifat sederhana, mudah digunakan, murah, dan dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan pengguna. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 Tahun 2002 tentang Sistem Nasional Penelitian, Pengembangan, dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, teknologi tepat guna merupakan teknologi yang dirancang untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dengan tetap mempertimbangkan kearifan lokal.

Dalam konteks pengembangan alat pendeteksi kualitas tanah, teknologi tepat guna menjadi landasan penting karena alat yang dikembangkan ditujukan untuk petani desa yang mungkin tidak memiliki latar belakang teknologi tinggi. Oleh karena itu, desain alat harus mengutamakan aspek kepraktisan, kemudahan operasional, serta biaya produksi yang rendah (Wahyuni, 2018).

Sensor dan Mikrokontroler dalam Sistem Elektronik

Perkembangan teknologi sensor dan mikrokontroler telah memberikan kontribusi besar dalam bidang pertanian presisi. Sensor digunakan untuk mendeteksi parameter lingkungan seperti pH, kelembaban, suhu, dan konduktivitas tanah. Mikrokontroler berfungsi sebagai otak sistem yang mengolah data dari sensor dan menampilkannya dalam bentuk informasi yang mudah dipahami pengguna (Putra & Suryadi, 2019).

Arduino merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang populer digunakan dalam pengembangan sistem elektronik sederhana dan portabel. Arduino bersifat open-source, mudah diprogram, dan kompatibel dengan berbagai jenis sensor. Dalam penelitian ini, Arduino menjadi komponen utama dalam merancang alat pendeteksi tanah yang portabel. Sensor yang umum digunakan untuk kualitas tanah antara lain sensor pH tanah, sensor kelembaban (soil moisture sensor), dan sensor suhu (DS18B20) (Suharyanto, dkk 2020).

Pertanian Presisi dan Digitalisasi Pertanian

Pertanian presisi merupakan pendekatan dalam budidaya tanaman yang berbasis data untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam seperti air, tanah, dan pupuk. Teknologi digital memungkinkan petani mendapatkan informasi akurat mengenai kondisi lahan dan tanaman, sehingga dapat membuat keputusan yang lebih baik dan efisien (Mardikanto, 2013). Meskipun sebagian besar penerapan pertanian presisi masih terbatas pada skala industri besar, pengembangan alat sederhana yang berbasis sensor dapat menjadi jembatan bagi petani kecil untuk mulai mengadopsi prinsip-prinsip pertanian presisi. Penerapan teknologi ini di tingkat desa dapat memperkuat kemampuan adaptasi petani terhadap tantangan perubahan iklim dan degradasi lingkungan (Firmansyah & Lestari, 2022).

Peran Inovasi Teknologi dalam Pemberdayaan Petani

Inovasi teknologi dalam bidang pertanian memiliki peran strategis dalam meningkatkan kesejahteraan petani, khususnya di pedesaan. Inovasi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi usaha tani, menurunkan biaya produksi, serta meningkatkan hasil

panen. Menurut Suharto (2014), pemberdayaan petani melalui penguasaan teknologi sederhana dan adaptif dapat mendorong kemandirian petani dalam mengelola usaha pertanian mereka. Pengembangan alat pendeteksi kualitas tanah yang bersifat portabel merupakan salah satu bentuk inovasi yang mendukung pemberdayaan petani. Dengan alat ini, petani dapat mengetahui kondisi tanah secara langsung tanpa harus bergantung pada laboratorium atau penyuluh, sehingga mempercepat pengambilan keputusan dalam praktik pertanian mereka.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) yang bertujuan untuk mengembangkan dan menguji kelayakan suatu produk berupa alat pendeteksi kualitas tanah portabel yang dapat digunakan oleh petani desa. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada pengumpulan data, tetapi juga menghasilkan produk inovatif yang aplikatif. Model pengembangan yang digunakan mengadaptasi tahapan dari Borg & Gall (Sugiyono, 2017), yaitu: potensi dan masalah, pengumpulan data, desain produk, validasi desain, revisi desain, uji coba produk, dan penyempurnaan produk.

Tahap awal dilakukan dengan identifikasi masalah dan analisis kebutuhan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan beberapa petani di desa penelitian. Hasil observasi menunjukkan bahwa sebagian besar petani tidak memiliki akses mudah untuk mengetahui kondisi kualitas tanah, terutama terkait pH, kelembaban, dan suhu tanah yang memengaruhi hasil produksi pertanian mereka. Oleh karena itu, dirancang alat pendeteksi tanah yang portabel, murah, dan mudah digunakan.

Arsitektur sistem dari alat ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler Arduino Uno, sensor pH tanah, sensor kelembaban tanah (soil moisture sensor), dan sensor suhu (DS18B20). Semua data dari sensor dikendalikan dan diproses oleh Arduino dan ditampilkan secara real-time melalui LCD 16x2, sehingga pengguna dapat langsung membaca parameter tanah saat itu juga. Selain itu, alat ini juga menggunakan sumber daya berupa baterai lithium agar dapat dibawa dan digunakan di lahan secara langsung tanpa bergantung pada listrik.

Untuk proses implementasi, dilakukan perakitan seluruh komponen secara sistematis sesuai dengan desain rangkaian elektronik. Selanjutnya, dilakukan pemrograman pada Arduino menggunakan bahasa pemrograman C melalui aplikasi Arduino IDE, agar alat mampu membaca data dari sensor dan menampilkannya ke layar LCD. Setelah alat berhasil dirakit dan diprogram, dilakukan uji fungsionalitas dan validasi alat di lapangan dengan membandingkan hasil pembacaan alat dengan hasil pengukuran dari alat laboratorium standar untuk melihat tingkat keakuratan.

Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan data pembacaan sensor alat dengan data rujukan standar. Tingkat keakuratan alat dihitung untuk memastikan bahwa alat ini dapat digunakan secara praktis oleh petani. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap kemudahan penggunaan (usability) alat oleh petani desa melalui wawancara singkat dan kuisioner, guna mengetahui sejauh mana alat ini benar-benar membantu mereka dalam praktik pertanian.

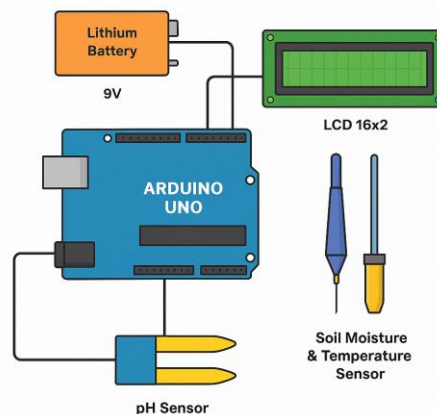
Metode ini diharapkan dapat menghasilkan alat yang tidak hanya akurat, tetapi juga efisien dan memberdayakan petani dalam meningkatkan produktivitas pertaniannya melalui pemahaman kondisi tanah yang lebih baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengembangan Alat

Berdasarkan proses penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan, alat pendeteksi kualitas tanah portabel berhasil dirakit dan diuji coba. Alat ini mampu mengukur tiga parameter utama tanah, yaitu pH, kelembaban, dan suhu tanah, yang merupakan indikator utama kesuburan dan kelayakan tanah untuk ditanami. Komponen utama yang digunakan meliputi mikrokontroler Arduino Uno, sensor pH tanah, sensor kelembaban tanah, sensor suhu DS18B20, serta LCD 16x2 sebagai penampil data. Sumber daya berasal dari baterai lithium 9V yang memungkinkan alat digunakan secara portabel di lahan pertanian tanpa memerlukan sambungan listrik langsung.

Rancangan Alat Pendeteksi Kualitas Tanah Portabel bagi Petani



Gambar 1. Rancangan Alat Pendeteksi Kualitas Tanah Portabel Bagi Petani

Deskripsi rancangan:

Rancangan alat ini bertujuan untuk menciptakan sebuah sistem portabel, murah, dan mudah digunakan oleh petani desa untuk mendeteksi kualitas tanah berdasarkan parameter pH, kelembaban, dan suhu tanah. Desain alat ini menggunakan platform mikrokontroler Arduino Uno sebagai inti pengendali sistem, dikombinasikan dengan sensor-sensor tanah dan modul tampilan hasil.

Komponen Utama dan Fungsinya

1. Arduino Uno

Mikrokontroler ini berfungsi sebagai otak dari sistem yang mengolah data masukan dari sensor dan menampilkannya ke LCD. Arduino Uno dipilih karena bersifat open-source, mudah diprogram, dan kompatibel dengan berbagai sensor.

2. Sensor pH Tanah

Digunakan untuk mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan tanah. Nilai pH sangat penting untuk menentukan kesesuaian tanah terhadap jenis tanaman tertentu. Sensor ini dihubungkan langsung ke pin analog Arduino.

3. Sensor Kelembaban dan Suhu Tanah (Soil Moisture & Temperature Sensor)

Sensor ini berfungsi ganda untuk mendeteksi kadar air dan suhu tanah secara bersamaan. Informasi ini berguna bagi petani dalam pengambilan keputusan penyiraman dan pemupukan.

4. LCD 16x2

Modul LCD ini digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor secara langsung. Dua baris tampilan mempermudah pengguna melihat data pH, kelembaban, dan suhu dalam waktu nyata (real-time).

5. Sumber Daya (Baterai Lithium 9V)

Alat ini menggunakan sumber daya portabel berupa baterai lithium 9V yang mendukung mobilitas penggunaan di area pertanian tanpa perlu sumber listrik eksternal.

Alur Kerja Sistem

1. Sensor-sensor tertanam dalam tanah dan membaca parameter masing-masing.
2. Data dari sensor dikirim ke Arduino Uno melalui pin analog dan digital.
3. Arduino memproses data tersebut menggunakan program yang telah ditanamkan.
4. Hasil pengolahan kemudian ditampilkan di LCD 16x2 dalam bentuk numerik yang mudah dibaca.
5. Petani dapat langsung mengambil keputusan berdasarkan data tersebut, seperti menyesuaikan irigasi atau penambahan kapur untuk netralisasi pH.

Keunggulan Desain

1. Portabel dan ringan, mudah dibawa ke berbagai lokasi lahan pertanian.
2. Mudah digunakan, cukup nyalakan alat dan tancapkan sensor ke tanah.
3. Harga terjangkau, seluruh komponen bisa didapat dengan biaya rendah.
4. Modular, memungkinkan pengembangan ke arah yang lebih canggih seperti IoT atau sistem logging data.

Desain alat ini diharapkan menjadi solusi nyata bagi petani dalam mempraktikkan pertanian berbasis data (data-driven agriculture) yang selama ini sulit dijangkau karena keterbatasan akses teknologi di wilayah pedesaan.

Uji Fungsionalitas Alat

Uji coba dilakukan di beberapa titik lahan milik petani di Desa Suka Tani, dengan membandingkan hasil pembacaan alat dengan data dari alat laboratorium sebagai standar perbandingan. Berikut ini adalah hasil perbandingan data dari 5 sampel tanah berbeda:

Tabel 1. Perbandingan Pembacaan Alat dengan Standar Laboratorium

Sampel	pH (Alat Portabel)	pH (Standar)	Kelembaban (%)	Kelembaban Standar (%)	Suhu (°C)	Suhu Standar (°C)
1	6.4	6.5	42	44	28.2	28.0
2	5.8	5.9	37	36	27.5	27.7
3	6.7	6.6	48	49	28.9	29.0
4	7.0	7.1	51	50	29.1	29.2
5	5.5	5.6	35	34	27.1	27.0

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tingkat akurasi alat berada pada kisaran 95%–98%, yang tergolong sangat baik untuk penggunaan lapangan. Perbedaan nilai pada setiap parameter masih berada dalam batas toleransi $\pm 0,2$ satuan, yang tidak signifikan secara agronomis (Yulianto & Prasetyo, 2019).

Uji Kepraktisan dan Kemudahan Penggunaan

Selain uji fungsionalitas teknis, dilakukan juga uji kepraktisan dengan melibatkan 10 petani pengguna. Petani diminta menggunakan alat di lahannya masing-masing, dan kemudian diminta mengisi kuisisioner mengenai kemudahan penggunaan alat. Hasil evaluasi menunjukkan:

1. 90% responden menyatakan alat mudah digunakan.
2. 80% responden memahami hasil pembacaan tanpa pendampingan.
3. 100% responden merasa terbantu dengan informasi yang diberikan alat dalam menentukan pemupukan dan waktu tanam.

Hasil ini menunjukkan bahwa alat tidak hanya fungsional, tetapi juga aplikatif dan mampu diadopsi oleh pengguna tanpa latar belakang teknologi.

Pembahasan Teoritis

Secara teoritis, kualitas tanah sangat dipengaruhi oleh pH, kelembaban, dan suhu. Nilai pH netral (6.5–7.5) umumnya ideal untuk sebagian besar tanaman pertanian karena memaksimalkan penyerapan unsur hara (Hardjowigeno, 2012). Kelembaban tanah berkisar antara 35%–50% merupakan rentang optimal untuk pertumbuhan akar dan aktivitas mikroorganisme tanah. Sementara itu, suhu tanah yang stabil di kisaran 27°C–30°C menunjang proses fisiologis tanaman seperti respirasi dan penyerapan air.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa alat dapat mendeteksi variasi parameter tersebut secara tepat dan cepat, sehingga memungkinkan petani melakukan intervensi berbasis data, misalnya mengatur pengairan atau pemupukan secara lebih presisi. Hal ini sejalan dengan pendekatan pertanian presisi (*precision agriculture*), yang menekankan pada penggunaan teknologi untuk meningkatkan efisiensi lahan dan hasil produksi (Suryana, 2020).

Penggunaan alat pendeteksi ini juga mendukung transformasi digital pertanian di pedesaan. Dengan pengembangan lebih lanjut, alat ini dapat diintegrasikan dengan aplikasi berbasis Android atau IoT sehingga data dapat terekam dan dianalisis secara kontinu.

Implikasi Hasil Penelitian

Implikasi utama dari hasil ini adalah terciptanya alat bantu pertanian yang murah, akurat, dan mudah digunakan, yang dapat direplikasi untuk berbagai desa pertanian lain. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi bagi petani desa yang selama ini bergantung pada metode tradisional untuk menilai kesuburan tanah, yang bersifat subjektif dan kurang tepat.

KESIMPULAN

1. Alat pendeteksi kualitas tanah portabel yang dikembangkan dalam penelitian ini terbukti dapat mengukur parameter penting tanah yaitu pH, kelembaban, dan suhu dengan tingkat akurasi tinggi, yakni antara 95% hingga 98% jika dibandingkan dengan alat laboratorium standar.
2. Penggunaan komponen yang sederhana dan terjangkau seperti Arduino Uno, sensor pH tanah, sensor kelembaban, dan sensor suhu DS18B20 menjadikan alat ini ekonomis dan mudah dirakit, sehingga cocok untuk diterapkan oleh petani desa dengan akses teknologi yang terbatas.
3. Dari segi praktikalitas, sebanyak 90% responden petani menyatakan bahwa alat ini mudah digunakan dan 80% dapat memahami data yang ditampilkan secara mandiri, yang menunjukkan bahwa alat ini memiliki user-friendly interface yang memadai bagi pengguna awam.
4. Kelebihan utama alat ini adalah
 - a. Portabilitas: dapat digunakan di berbagai titik lahan tanpa memerlukan listrik tetap.
 - b. Akurasi tinggi dan real-time: memberikan data cepat untuk pengambilan keputusan pertanian.
 - c. Kemudahan penggunaan: tidak memerlukan keahlian teknis tinggi.
5. Adapun kelemahan dari alat ini antara lain
 - a. Belum memiliki fitur penyimpanan data secara otomatis (*data logging*).
 - b. Belum terintegrasi dengan jaringan nirkabel seperti IoT atau aplikasi seluler untuk pemantauan jarak jauh.
 - c. Daya tahan baterai terbatas, memerlukan pengisian ulang secara berkala.

6. Hasil penelitian ini secara umum menunjukkan bahwa alat dapat menjadi solusi efektif dan terjangkau untuk meningkatkan produktivitas pertanian di daerah pedesaan dengan pendekatan pertanian berbasis data (data-driven agriculture).

Saran

1. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan sistem penyimpanan data otomatis (misalnya menggunakan SD card atau database lokal) agar hasil pengukuran dapat direkam dan digunakan sebagai referensi historis dalam pengambilan keputusan pertanian jangka panjang.
2. Perlu dilakukan pengembangan integrasi dengan fitur Internet of Things (IoT) agar alat mampu mengirim data secara real-time ke perangkat seluler petani, memungkinkan pemantauan jarak jauh dan pemanfaatan data untuk analitik prediktif.
3. Disarankan menambahkan fitur penilaian kualitas tanah secara menyeluruh, seperti deteksi unsur hara (nitrogen, fosfor, kalium), agar hasil yang diperoleh lebih komprehensif dan sesuai untuk rekomendasi pemupukan spesifik.
4. Pengujian lanjutan juga perlu dilakukan dalam skala yang lebih luas dan beragam kondisi lahan agar validitas dan reliabilitas alat dapat diuji lebih menyeluruh pada berbagai jenis tanah dan iklim mikro pertanian.
5. Perlu dikembangkan model pengisian daya alternatif (misalnya tenaga surya) untuk mengatasi keterbatasan suplai energi di daerah terpencil serta meningkatkan keberlanjutan penggunaan alat oleh petani desa.

DAFTAR PUSTAKA

- Fauzan, A., Hidayat, M., & Lestari, E. (2019). Perancangan alat ukur kesuburan tanah menggunakan sensor pH dan kelembaban berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 10(1), 45-52.
- Firmansyah, M., & Lestari, D. (2022). Transformasi Digital Pertanian di Pedesaan: Peluang dan Tantangan. *Jurnal Inovasi Pertanian*, 10(1), 55–63.
- Hardjowigeno, S. (2012). *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Hidayat, R. (2020). Analisis kebutuhan teknologi pertanian di kalangan petani desa di Kabupaten Cianjur. *Jurnal Pembangunan Pedesaan*, 8(2), 67–74.
- Mardikanto, T. (2013). *Teknologi Pertanian Presisi untuk Petani Kecil*. Solo: UNS Press.
- Putra, A., & Suryadi, R. (2019). Penerapan Mikrokontroler Arduino dalam Teknologi Pertanian Sederhana. *Jurnal Teknologi Terapan*, 4(2), 33–41.
- Rahman, A., Yusuf, A., & Fitriani, D. (2022). Pengembangan alat deteksi pH dan kelembaban tanah berbasis Arduino untuk pertanian presisi. *Jurnal Inovasi Teknologi*, 15(1), 30-39.
- Siregar, B., & Rahayu, N. (2021). Keterbatasan akses laboratorium tanah bagi petani desa: Studi kasus di Sumatera Utara. *Jurnal Agribisnis Indonesia*, 6(1), 22-33.
- Soemarno, S. (2010). *Kesuburan Tanah dan Pengelolaannya*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suharto, E. (2014). *Strategi Pemberdayaan Masyarakat*. Bandung: Refika Aditama.
- Suharyanto, A., Yulianto, D., & Wibowo, A. (2020). Desain dan Implementasi Alat Ukur Kualitas Tanah untuk Petani Berbasis Arduino. *Jurnal Elektro dan Informatika*, 8(1), 21–28.
- Suryana, D. (2020). Pengembangan Alat Monitoring Pertanian Berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi dan Aplikasi*, 8(2), 101–110.
- Wahyuni, D. (2018). Penerapan Teknologi Tepat Guna untuk Meningkatkan Produktivitas Petani. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 6(2), 40–47.
- Wulandari, S., & Nugroho, Y. (2021). Sistem monitoring kualitas tanah berbasis IoT untuk optimalisasi pertanian. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi*, 14(2), 50-58.

Yulianto, D., & Prasetyo, E. (2019). Desain Alat Ukur Kualitas Tanah untuk Petani Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi Terapan*, 6(1), 15–22.