

RANCANG BANGUN SISTEM IRIGASI OTOMATIS BERBASIS SENSOR KAPASITIF KELEMBAPAN TANAH

Design of an Automatic Irrigation System based on Capacitive Soil Moisture Sensors

Arief Sudarmaji^{1,*}, Agus Margiwyatno¹, Siswantoro¹, Masrukhi¹, Krissandi Wijaya¹,
Purwoko H Kuncoro¹, Ropiudin¹, Asna Mustofa¹, Susanto B Sulisty¹, Poppy Arsil¹,
Abdul M Ritonga¹, Irawadi¹

¹ Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian,

* Email: arief.sudarmaji@unsoed.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.20884/1.jaber.2024.5.1.11349>

Naskah ini diterima pada 04 Februari 2024; revisi pada 5 Februari 2024;
disetujui untuk dipublikasikan pada 14 Mei 2024

ABSTRAK

Kesediaan air yang tepat dan terukur merupakan aspek penting untuk pertumbuhan tanaman yang optimal. Perlu dilakukan pemantauan kelembaban tanah secara kontinyu sebagai dasar penyiraman. Makalah ini menyajikan rancangbangun sistem pengukuran kelembaban tanah dan pengujian sensor kelembaban tanah tipe kapasitif untuk memperoleh model kalibrasi pada beragam jenis tanah. Sistem pengukuran berbasis mikrokontroler Arduino-Mega yang terdiri dari sensor kelembaban tanah, modul pewaktu, modul kartu memori, keypad, LCD, dan aktuator irigasi. Pada penelitian ini diujikan enam sensor kapasitif tanah (*capacitive soil moisture*) pada dua jenis tanah, yaitu tanah pasir, dan tanah organik. Tanah pasir berasal dari pesisir pantai di Desa Adipala Kabupaten Cilacap dan tanah organik berasal dari lahan kering di Desa Kedungrandu Kabupaten Banyumas. Proses kalibrasi didasarkan pada tegangan sensor kelembaban tanah kapasitif (V) dan nilai kadar air tanah (KA) yang ditentukan menggunakan metode Gravimetri. Model kalibrasi yang diperoleh untuk masing-masing tanah yaitu $KA = 34.23 \times V^2 - 182.84 \times V + 249.45$ (tanah pasir) dan $KA = 2389 \times V^2 - 9252.6 \times V + 9012.9$ (tanah organik). Nilai kelembaban tanah, data waktu, dan status irigasi disimpan dalam kartu memori.

Kata kunci: sensor kelembaban tanah, sensor kapasitif, irigasi otomatis, mikrokontroler, lahan kering

ABSTRACT

Precise and measurable water availability is an important aspect for optimal plant growth. It is necessary to monitor soil moisture continuously as a basis for watering. This paper presents the design of a soil moisture measurement system and testing of a capacitive type soil moisture sensor to obtain a calibration model on various types of soil. The measurement system is based on an Arduino-Mega microcontroller consisting of a soil moisture sensor, timer module, memory card module, keypad, LCD and irrigation actuator. In this research, five capacitive soil moisture sensors were tested on three types of soil, namely sand soil, and organic soil. Sand soil comes from the coast in Adipala Village, Cilacap Regency and organic soil comes from dry land in Kedungrandu Village, Banyumas Regency. The calibration process is based on the capacitive soil moisture sensor voltage (V) and soil water content (KA) values determined using the gravimetric method. The calibration model obtained for each soil is $KA = 34.23 \times V^2 - 182.84 \times V + 249.45$ (sandy soil), and $KA = 2389 \times V^2 - 9252.6 \times V + 9012.9$ (organic soil). Soil moisture outputs, time data, and irrigation status are stored in the memory card.

Keywords: soil moisture sensor, capacitive sensor, otomatic irrigation, microcontroller, dry land

PENDAHULUAN

Pertanian Presisi (*Precision Agriculture*) merupakan pengelolaan pertanian yang didasarkan pada pemantauan dan penghitungan parameter pertanian secara presisi, yang berguna sebagai acuan dalam mengambil tindakan yang tepat (Dagar et al., 2018). Lazimnya pertanian konvensional berdasarkan dilaksanakan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan untuk beberapa kegiatan (seperti menanam, menyiram, atau memanen). Sedangkan, pertanian presisi menggunakan analisis prediktif untuk membuat keputusan yang optimal dan efektif berdasarkan kumpulan informasi *real-time* mengenai cuaca, kualitas tanah dan udara, kematangan tanaman dan bahkan biaya dan ketersediaan peralatan dan tenaga kerja (UNDP, 2021). Tujuan dasar pertanian presisi adalah untuk meningkatkan profitabilitas produksi tanaman, meningkatkan kualitas produk, dan melindungi lingkungan. Hal ini didasarkan pada pemantauan dan penghitungan parameter pertanian secara tepat sebagai acuan dalam mengambil tindakan optimal untuk pertumbuhan tanaman (Srinivasan, 2006).

Variabilitas atribut tanah suatu lahan adalah salah satu faktor penting dalam proses pengambilan keputusan, berupa informasi tentang sifat-sifat tanah dengan cepat dan terjangkau untuk rencana pengelolaan air. Penyiraman yang tepat merupakan aspek penting untuk pertumbuhan tanaman yang optimal. Sangat penting untuk memantau kelembaban tanah secara teratur sebagai dasar waktu irigasi (Camp et al., 2006). Namun, para petani merasa kesulitan untuk sering memantau kelembaban tanah, bahkan ketika menggunakan instrumen pengukuran di lokasi. Diperlukan suatu teknik pemantauan yang dapat mengontrol kelembaban tanah dari jarak jauh (UNDP, 2021).

Perkembangan piranti terprogram terpadu dalam beberapa tahun terakhir telah mendorong lebih banyak peluang, seperti sistem kontrol irigasi otomatis, untuk membuat praktik pertanian menjadi lebih efisien dan membantu aktivitas petani. Sistem kontrol irigasi dirancang untuk membantu memantau ladang tanaman menggunakan sensor dan mengotomatisasi sistem irigasi. Hasilnya, petani dan pihak terkait dapat memantau kondisi lahan dari lokasi mana pun dengan mudah (Abu et al., 2022). Salah satu piranti yang populer digunakan untuk membangun sistem kontrol dalam bidang pertanian adalah modul Arduino. Arduino menawarkan beragam keunggulan dan praktis yang memadai dengan beragam pilihan fitur yang dapat dioptimalkan untuk mendukung sistem kontrol, diantaranya kemampuan membaca data analog, koneksi serial, SPI, pinout digital input/output yang fleksibel. Sehingga Arduino dapat dengan mudah dikoneksi dengan modul memori, modul pewaktu, modul keypad, dan lainnya.

Dan, saat ini telah banyak dikembangkan beragam sensor kelembaban tanah yang dapat diterapkan untuk pengukuran *in-situ* di lahan. Sensor yang didasarkan pada teknik pengukuran dielektrik digunakan untuk pengukuran kelembaban tanah *in situ* secara kontinyu yang umumnya diklasifikasikan berdasarkan reflektometri domain waktu (TDR), reflektometri domain frekuensi (FDR), atau teknik kapasitansi (Mittelbach et al., 2012).

Sensor TDR umumnya lebih akurat tetapi pada saat yang sama, harganya juga jauh lebih mahal dibandingkan dengan sensor FDR dan sensor kapasitansi. Namun, sensor TDR mengkonsumsi lebih banyak daya sehingga memerlukan pasokan daya yang terus menerus. Namun sensor TDR biasanya digunakan sebagai sensor acuan dalam penelitian-penelitian terkait pengukuran kelembaban tanah karena keakuratannya. Sebaliknya, sensor kapasitansi menawarkan alternatif yang sangat baik dibandingkan sensor TDR karena biayanya yang lebih rendah (Kizito. F et al., 2008).

Jika digabungkan dengan data logger, sensor kelembaban tanah terbukti berguna dalam memantau kelembaban tanah di lahan yang luas. Namun, banyak sistem pemantauan kelembaban tanah yang dijual di pasaran mahal dan tidak terjangkau oleh sebagian besar petani di negara berkembang, oleh karena itu diperlukan alternatif yang berbiaya rendah.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol irigasi otomatis berdasarkan pemantauan kelembaban tanah secara *in-situ* yang dapat diatur jangkauan (kisaran) kelembaban tanah yang dikehendaki, dan menyimpan hasil pengukuran dalam modul

kartu memori untuk pengelolaan air irigasi yang efisien pada tanaman. Penelitian menggunakan dan mengujikan sensor kelembaban tanah jenis sensor kapasitif kelembaban tanah.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman selama tujuh bulan dari Bulan April 2023 hingga bulan November 2023.

Alat dan Bahan Penelitian

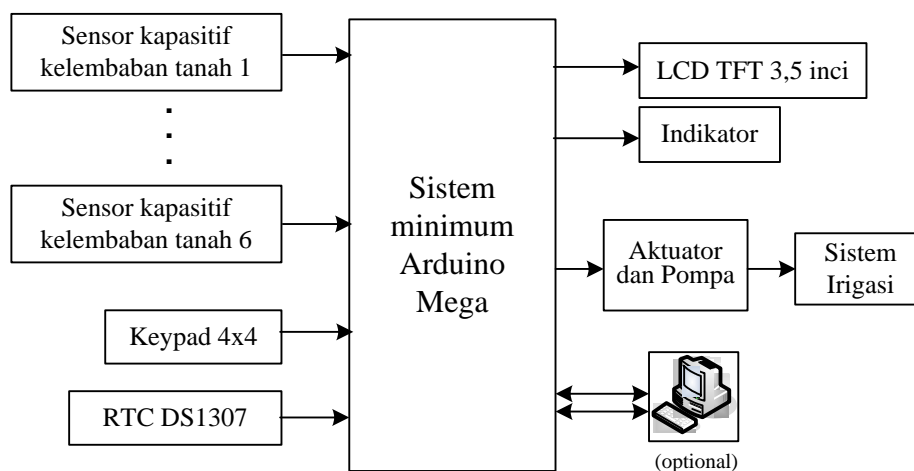
Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain: Arduino Mega, sensor kapasitif kelembaban tanah V2, *real time clock* (RTC), *SD card module*, relai, LCD TFT 3,5 inci, *keypad* 4x4, box plastik, kabel jumper, saklar, kertas label. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: digital multimeter, solder, kabel pemrogram, perkakas, laptop, oven pengering, timbangan digital, ring sampel tanah.

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan metode rancang bangun dan eksperimental. Tahapan pengujian meliputi: desain dan rancang bangun sistem otomatis irigasi dan kalibrasi sensor kapasitif kelembaban tanah.

Desain Sistem Kontrol Irigasi

Gambar 1 menunjukkan diagram sistem otomatis irigasi pada tanaman berdasarkan kelembaban tanah dan pewaktuan. Bagian utama sistem otomatis tersusun dari sensor kelembaban tanah, sistem minimum Arduino Mega, sensor kapasitif kelembaban tanah, Real Time Clock DS1302, keypad 4x4, penampil LCD dan indikator, unit aktuator, dan pompa DC. Sistem minimum Arduino Mega yang kompak cukup memadai untuk dipakai sebagai pusat kendali. Sumber tenaga untuk mengambil air dari dalam tanah dan distribusi pada lahan digunakan pompa air listrik DC yang yang cocok digunakan menggunakan sumber energi listrik dari sel surya ataupun sejenisnya.



Gambar 1. Diagram sistem irigasi otomatis untuk tanaman berbasis nilai kelembaban tanah.

Kalibrasi Sensor Kapasitif Kelembaban Tanah

Sensor kapasitif kelembaban tanah diuji pada dua jenis tanah yang berbeda, yaitu tanah pasir dan tanah organik. Kalibrasi sensor kelembaban tanah menggunakan metode Gravimetri (*Gravimetric Water Content, GWC*) pada keluaran sensor kapasitif kelembaban tanah. Metode gravimetri adalah perbandingan massa air dengan massa tanah dalam suatu sampel.

Instrumentasi dan bahan habis pakai yang diperlukan seperti: (a) Kaleng aluminium (kaleng kecil berbentuk lingkaran adalah pilihan terbaik agar Anda dapat memasukkan lebih banyak ke dalam oven sekaligus, namun ukuran apa pun bisa digunakan), dan (b) timbangan analitik (setidaknya dua digit desimal).

Prosedur metode GWC untuk mengkalibrasi sensor kelembaban tanah kapasitif meliputi (Carter & Gregorich, 2008; Lab, 2021; The et al., 2021):

1. Persiapan sampel
 - a. Beri nomor pada kaleng aluminium, timbang setiap kaleng, dan catat beratnya.
 - b. Timbang ~ 10 g setiap sampel tanah lembab ke dalam kalengnya masing-masing.
 - c. Masukkan loyang ke dalam oven pada suhu 105 °C semalaman (16 jam) atau sampai beratnya konstan.
 - d. Keluarkan loyang dari oven dan timbang setiap loyang, catat berat keringnya. Kadang-kadang Anda perlu meletakkan selempak karton di bawah kaleng (ditara) agar panas tidak menyebabkan timbangan berfluktuasi.

2. Membersihkan

- a. Buang tanah ke dalam ember.
- b. Bilas kaleng aluminium, keringkan, dan masukkan kembali ke dalam lemari.

3. Perhitungan

Ada dua cara berbeda untuk menghitung GWC dan bobot selanjutnya yang diperlukan untuk mencapai massa tanah dasar kering oven untuk analisis tertentu. Yang satu menggunakan basis berat kering dan basis berat basah. GWC dapat dinyatakan dalam persentase, atau dalam satuan g air/g tanah (ladang lembab atau kering). Perhitungan basis berat basah seperti ditunjukkan pada Persamaan.1.

$$GWC = \frac{(wet\ weight - dry\ weight)}{wet\ weight} \times 100\% \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Irigasi Otomatis

Sistem irigasi tetes otomatis merupakan alat sistem kontrol yang dimanfaatkan pada sistem irigasi tetes pada budidaya pertanian. Sistem ini berjalan berdasarkan waktu penyiraman dan kelembaban tanah yang berasal dari sensor pewaktu *Real Time Clock* (RTC) dan sensor kelembaban tanah tipe kapasitif. Data diakuisisi oleh mikrokontroler yang mana data tersebut ditampilkan pada layar LCD. Setting nilai batas kelembaban tanah (*set point*) masing-masing yang diinginkan dapat diatur menggunakan keypad yang kemudian tersimpan dalam memori internal (ROM) mikrokontroler. Apabila *set point* waktu penyiraman dan nilai ADC menunjukkan data yang telah ditentukan, maka katup akan terbuka/tertutup otomatis melalui *relay*. Seluruh proses dan waktu tercatat melalui dan disimpan melalui *SD Card Module*. Tampilan muka dan Perangkat sistem kontrol irigasi otomatis dapat dilihat pada Gambar 2.

Rangkaian elektrik sistem irigasi tetes otomatis dirancang menggunakan beberapa komponen elektronika yang digunakan yaitu Arduino MEGA, LCD TFT 3,5 inchi, Sensor kelembaban tanah kapasitif, *Relay*, RTC (*Real Time Clock*), *SD card module*, dan aktuator *relay*. Setiap komponen memiliki fungsi yang saling berkaitan satu sama lain. *Relay* berfungsi sebagai saklar elektrik untuk menerima sinyal kendali *on/off*. Sinyal kendali *on/off* pada *relay* diberikan otomatis oleh pengaturan *set point* dan RTC kemudian diproses oleh mikrokontroler Arduino Mega, lalu *output* dari mikrokontroler Arduino Mega tersebut diterima oleh *relay* yang akan

menghidupkan dan mematikan aktuator berupa katup selenoid. RTC digunakan untuk mencatat waktu dari setiap kegiatan yang terjadi selama sistem irigasi tetes otomatis bekerja. *SD card module* berfungsi sebagai *data logger*, yang akan merekam semua kegiatan selama sistem irigasi tetes otomatis bekerja beserta waktu yang dicatat oleh RTC.



Gambar 2. Tampilan muka sistem kontrol irigasi otomatis berdasarkan kelembaban tanah

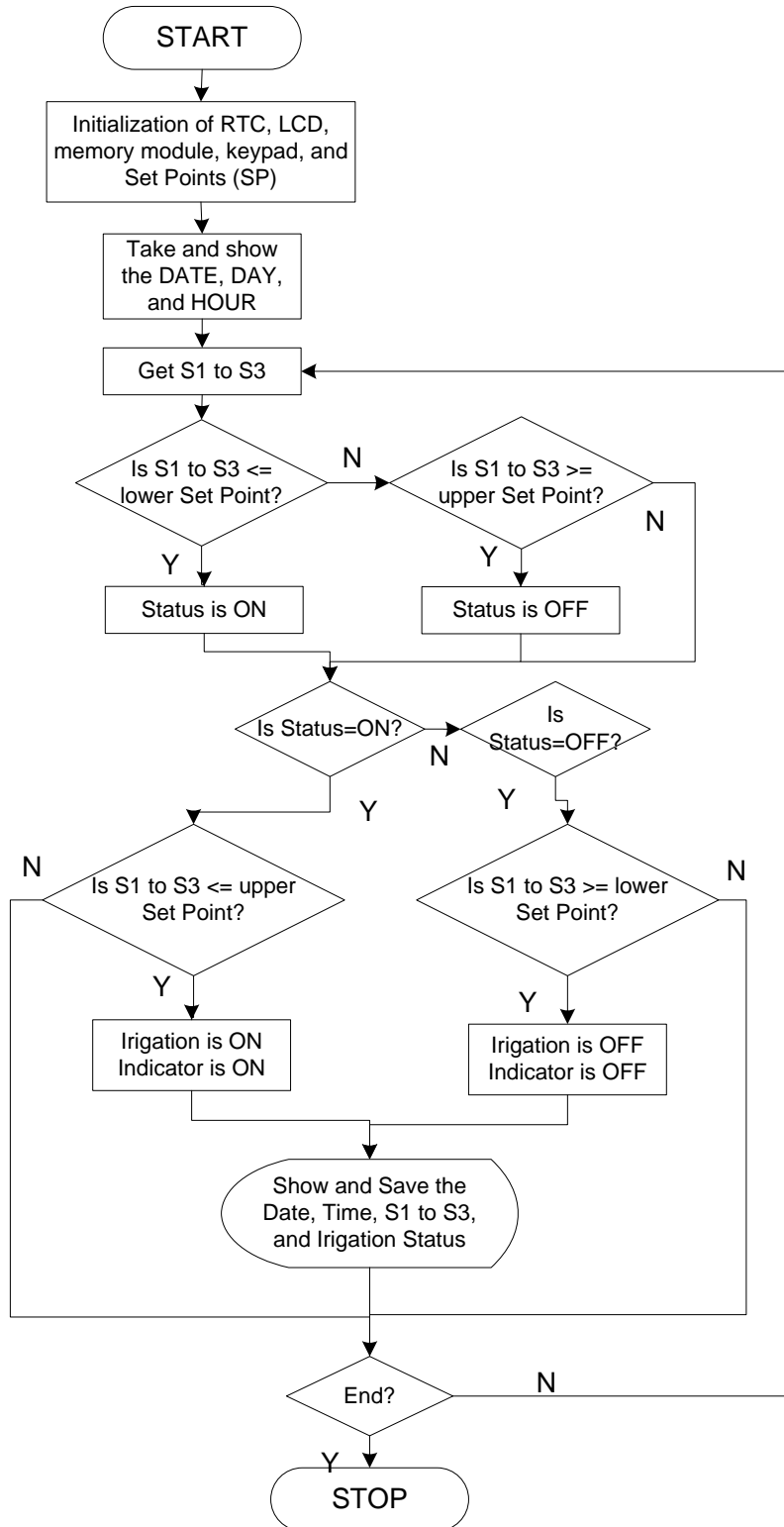


Gambar 3. Capacitive Soil Humidity sensor

Prinsip kerja sistem kontrol irigasi berbasis kelembaban tanah dengan dua set point adalah sebagai berikut:

- a. Sistem mengambil data hari, tanggal dan jam aktual dari RTC dan menampilkannya di layar.
- b. Sistem membaca tiga probe kelembaban tanah dan menampilkannya.
- c. Sistem membandingkan kelembaban tanah aktual dengan titik setel (titik setel bawah adalah 12% dan titik setel atas adalah 18%).
- d. Apabila ketiga kelembaban tanah (S1 sd S3) berada di bawah set point bawah maka statusnya “sedang ON”, maka:
Jika ketiga kelembaban tanah (S1 sd S3) \leq set point atas maka pompa dalam keadaan “ON” sampai ketiga kelembaban tanah berada di atas set point atas.
- e. Apabila ketiga kelembaban tanah (S1 s/d S3) berada di atas set point atas maka statusnya “OFF”, maka:
Jika ketiga kelembaban tanah (S1 s/d S3) \geq set point lebih rendah maka pompa dalam keadaan “OFF” sampai kelembaban ketiga tanah berada di bawah set point bawah.

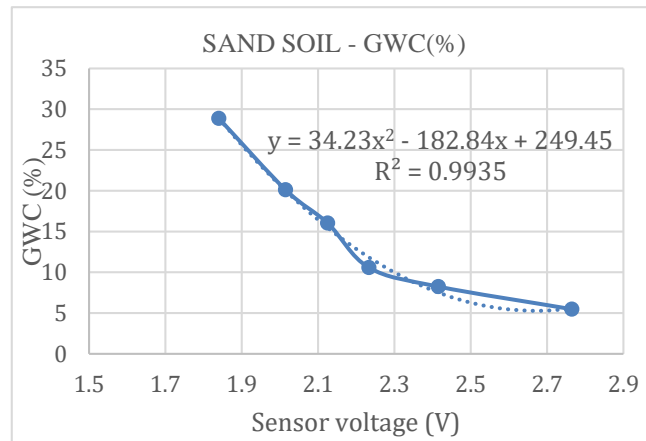
Diagram alir firmware pada Arduino-Mega untuk sistem otomatis pemberian air berbasis keadaan kelembaban tanah ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Algoritma sistem irigasi otomatis berbasis kelembaban tanah dengan dua *set point*

Respon dan nilai luaran sensor.

Gambar 4 menunjukkan hasil prosedur kalibrasi antara pembacaan tegangan sensor kapasitif kelembaban tanah (volt) dan GWC (%) yang diperoleh dengan metode gravimetri. Kami menguji 6 sensor kelembaban tanah dan setiap pengukuran diulang tiga kali. Kami juga menemukan rata-rata simpangan baku keluaran sensor tegangan dan pengukuran GWC masing-masing adalah sekitar 0,01 dan 3,95, yang menunjukkan simpangan baku yang rendah sehingga nilainya cenderung mendekati rata-rata atau nilai yang diharapkan. Penyimpangan ini juga sedikit serupa dengan respons mengkalibrasi kadar air tanah menggunakan reflektometri domain waktu (yaitu 0,04) (Wan et al., 2023).



Gambar 5. Model kalibrasi sensor kapasitif untuk tanah pasirt

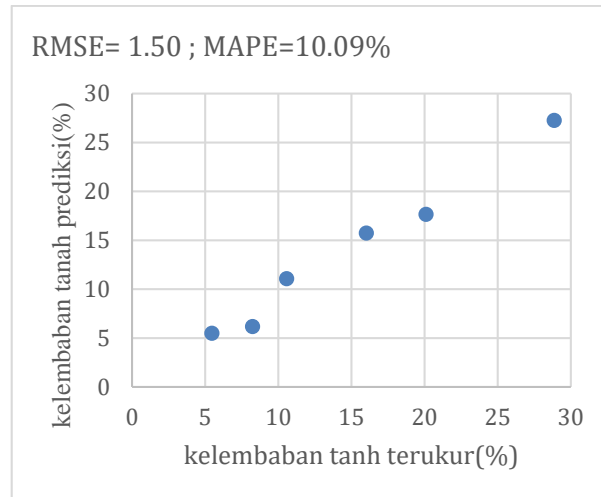
Persamaan fit model polinomial (persamaan 1) dengan nilai R² tertinggi diperoleh dengan mengamati beberapa model menggunakan aplikasi spreadsheet Excel seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Kemudian dihitung RMSE dan MAPE antara kadar air terukur dan kadar air hasil kalkulasi. Kami memperoleh MAPE sebesar 10,09%, yang menunjukkan bahwa kandungan air volumetrik tanah yang digunakan dalam penyelidikan ini dapat diperkirakan berada pada kisaran 0,08% dari pembacaan yang diberikan. Ketidakkuratan ini juga terjadi pada perangkat serupa yang telah dikalibrasi secara ekstensif (Eller & Denoth, 1996).

$$\theta_w = 34.23 \times V^2 - 182.84 \times V + 249.45 \tag{2}$$

dimana,
 θ_w = kelembaban tanah, basis basah (%)
V = tegangan sensor (volt)

Tabel 1. Perbandingan model kalibrasi sensor kapasitif kelembaban tanah

Trendline (model)	Equation	R ²
Linear	$\theta_w = -24.50 \times V + 69.57$	0.846
Power	$\theta_w = 370.5 \times V^{-4.234}$	0.976
Exponential	$\theta_w = 779.3 \times e^{(-1.84 \times V)}$	0.950
Polynomial	$\theta_w = 34.23 \times V^2 - 182.84 \times V + 249.45$	0.993



Gambar 6. Linear fit antara hasil perhitungan kelembaban tanah dengan kelembaban tanah terukur

KESIMPULAN

Sistem irigasi otomatis berbasis keadaan kelembaban tanah telah berhasil dibangun dengan menggunakan piranti mikrokontroler Arduino Mega sebagai pusat pengendali. Hasil pengujian memperlihatkan sistem dapat bekerja sesuai dengan program (alur kerja) yang dirancang. Batas kisaran atas dan bawah set point kelembaban tanah yang dikehendaki dapat diatur secara fleksibel menggunakan keypad, dan data pengukuran tersimpan di dalam sebuah kartu memori. Model kalibrasi yang diperoleh untuk masing-masing tanah yaitu $KA = 34.23 \times V^2 - 182.84 \times V + 249.45$ (tanah pasir) dan $KA = 2389 \times V^2 - 9252.6 \times V + 9012.9$ (tanah organik). Nilai kelembaban tanah, data waktu, dan status irigasi disimpan dalam kartu memori.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Soedirman yang telah mendanai penelitian ini melalui skema penelitian Riset Institusi BLU 2024 Universitas Jenderal Soedirman.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu, N. S., Bukhari, W. M., Ong, C. H., Kassim, A. M., Izzuddin, T. A., Sukhaimie, M. N., Norasikin, M. A., & Rasid, A. F. A. (2022). Internet of Things Applications in Precision Agriculture: A Review. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(3), 338–347. <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i3.14159>
- Camp, C. R., Sadler, E. J., & Evans, R. G. (2006). Precision Water Management: Current Realities, Possibilities, and Trends. In A. Srinivasan (Ed.), *Handbook of Precision Agriculture Principles and Applications* (pp. 153–183). Food Products Press, an imprint of The Haworth Press, Inc.
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (Eds.). (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis: 2nd ed.* CRC Press Taylor & Francis Group. http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=54lYLSV49zIC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Soil+Sampling+and+Methods+of+Analysis&ots=K1nH1IM0xO&sig=v_ZPJHbvR5f9hCz7blw

- 6hgazb9w%5Cnhttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=54IYLsV49zIC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Soil+sampling+and+metho
- Dagar, R., Som, S., & Khatri, S. K. (2018). *Smart Farming – IoT in Agriculture*. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA.2018.8597264>
- Eller, H., & Denoth, A. (1996). A capacitive soil moisture sensor. *Journal of Hydrology*, 185(1), 137–146. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)03003-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)03003-4)
- Kizito, F., Campbell, C. S., Campbell, G. S., Cobos, D. R., Teare, B. L., Carter, B., & Hopmans, J. W. (2008). Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor. *Hydrology*, 352(3), 367–378. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.01.021>
- Lab, S. (2021). *SOP : Gravimetric Water Content*. <https://margenot.cropsciences.illinois.edu/wp-content/uploads/2021/09/GWC-Calculations-UIUC-Soils-Lab-Aug-2021.pdf>
- Mittelbach, H., Lehner, I., & Seneviratne, S. I. (2012). Comparison of four soil moisture sensor types under field conditions in Switzerland. *Hydrology*, 430–431, 39–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01.041>
- Srinivasan, A. (2006). Handbook of Precision Agriculture Principles and Applications. In A. Srinivasan (Ed.), *Handbook of Precision Agriculture Principles and Applications* (pp. 1–18). Food Products Press, an imprint of The Haworth Press, Inc.
- The, C., Division, U., Protection, E., Protection, B., & Protection, H. (2021). *SOP : Gravimetric Water Content (GWC) Standard Operating Procedure Overview : Safety : Instrumentation & Consumables : July*, 1–5.
- UNDP. (2021). *Precision Agriculture for Smallholder Farmers*.
- Wan, H., Qi, H., & Shang, S. (2023). Estimating soil water and salt contents from field measurements with time domain reflectometry using machine learning algorithms. *Agricultural Water Management*, 285, 108364. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108364>