

Pengembangan Alat Portabel Pengukur Kadar Air dan Suhu Biji Kopi Berbasis ESP32 dengan Sensor Kapasitif dan Penyimpanan Data *Real-Time*

Development of a Portable Coffee Bean Moisture and Temperature Meter Using a Capacitive Sensor and Real-Time Data Storage

¹Ardianto Syaifur Rohman, ¹Mochamad Irwan Nari*), ¹Daniel Fernando Siahian, ¹Mursit Jamil, ¹Atalarick Dwi Novial Kurniawan, ¹Sihmaulana Dwianto, ¹Tunjung Genarsih, ²Sepdian Luri Asmono

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember, Jember, 68121, Indonesia

²Program Studi Pengelolaan Perkebunan Kopi, Jurusan Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jember, 68121, Indonesia

*) *corresponding email: m.irwan.nari@polije.ac.id*

Abstrak

Indikator utama kualitas pada biji kopi dipengaruhi oleh tingkat kadar air pada biji kopi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototype alat pengukur kadar air dan suhu biji kopi portable berbasis ESP32 yang dilengkapi dengan sensor kapasitif v1.0 (*Capacitive Soil Moisture v1.0*) dan sensor SHT21. Alat ini dirancang untuk memberikan pengukuran yang akurat dan efisien, dengan hasil yang ditampilkan secara *real-time* pada layar OLED. Selain itu, alat ini juga menyimpan data pengukuran ke dalam kartu SD untuk keperluan analisis lebih lanjut. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali setiap sampel dengan membandingkan hasil pengukuran alat yang dibuat dengan alat pembanding, yaitu sensor YL-69 untuk kadar air dan termometer digital untuk suhu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini memiliki tingkat akurasi tinggi dengan kesalahan relatif rata-rata sebesar 1,05% untuk kadar air dan 0,91% untuk suhu. Alat ini juga terbukti portabel dan hemat daya dengan hasil konsumsi energi sebesar 7,7 Wh selama 1,1 jam pengoperasian melalui tahap evaluasi yang mencakup pengoperasian alat menggunakan baterai dalam kondisi terisi penuh, diukur berdasarkan durasi penggunaan perangkat hingga daya baterai habis sepenuhnya. Dengan fitur penyimpanan data dan pemantauan *real-time*, alat ini dapat menjadi solusi bagi petani dan pengolah kopi dalam menjaga kualitas biji kopi.

Kata Kunci: Biji kopi, kadar air, sensor kapasitif v1.0

Abstract

The primary quality indicator of coffee beans is determined by their moisture content. This study aims to develop a portable prototype device for measuring both the moisture content and temperature of coffee beans, utilizing an ESP32 microcontroller integrated with a Capacitive Soil Moisture Sensor v1.0 and an SHT21 sensor. The device is designed to provide accurate and efficient measurements, with results displayed in real time on an OLED screen. In addition, the system stores measurement data on an SD card for further analysis. Experimental testing was conducted five times for each sample, comparing the results of the prototype with reference instruments, namely the YL-69 sensor for moisture measurement and a digital thermometer for temperature measurement. The results demonstrated that the device achieved a high level of accuracy, with an average relative error of 1.05% for moisture content and 0.91% for temperature. Furthermore, the prototype was proven to be portable and energy-efficient, consuming 7.7 Wh over 1.1 hours of operation, as evaluated through battery-based performance testing until full discharge. With its integrated data storage and real-time monitoring capabilities, this device provides a practical solution for coffee farmers and processors in maintaining and ensuring the quality of coffee beans.

Keywords: Coffee beans, moisture content, capacitive soil measurement v1.0

Makalah diterima 11 Juli 2025 – makalah direvisi 21 Agustus 2025 – disetujui 09 September 2025

Karya ini adalah naskah akses terbuka dengan lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



1 Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai salah satu produsen kopi terbesar di dunia, menempati peringkat keempat setelah Brasil, Vietnam, dan Kolombia [1]. Kondisi geografis Indonesia yang beragam serta iklim tropis yang mendukung, menjadikan negeri ini sebagai lahan subur bagi berbagai varietas kopi [2]. Kopi merupakan komoditas perkebunan yang memiliki nilai ekonomi tinggi, baik untuk pasar domestik maupun internasional [3], [4]. Namun, kualitas kopi Indonesia sangat bergantung pada proses pascapanen, salah satunya adalah

pengeringan biji kopi yang menentukan kadar air biji sebelum proses sangrai [5], [6], [7], [8]. Hal ini sesuai dengan Standar Nasional Indonesia untuk biji kopi yang harus dijaga dalam kisaran 12,5%. [9]. Kadar air yang tidak tepat dapat menurunkan mutu kopi, memengaruhi aroma, cita rasa, dan daya simpan [10], [11], [12]. Biji kopi dengan kadar air lebih tinggi dari ambang batas cenderung lebih cepat rusak karena rentan terhadap jamur dan bakteri [13]. Hal ini berkaitan dengan daya simpan biji. Kadar air dalam biji kopi yang tinggi menurunkan daya simpan dan kesegaran biji karena dapat memacu pertumbuhan organisme seperti kapang dan khamir selama proses simpan [14]. Selain itu, kadar air tinggi dalam biji kopi juga menyebabkan proses pemanasan yang tidak merata sehingga mempengaruhi keseragaman hasil sangrai kopi [15]. Sebaliknya, biji kopi yang terlalu kering dapat menyebabkan aroma dan cita rasa hilang [16]. Kadar air yang terlalu rendah memengaruhi kadar senyawa volatil dalam biji. Senyawa volatile berperan penting dalam menciptakan aroma dan cita rasa kopi [17]. Oleh karena itu, pengukuran kadar air yang akurat menjadi krusial dalam proses pengolahan pascapanen.

Salah satu tantangan utama dalam industri kopi adalah metode pengukuran kadar air yang masih konvensional [18]. Metode ini meskipun murah dan mudah dilakukan, memiliki banyak keterbatasan seperti ketergantungan terhadap cuaca, membutuhkan waktu yang cukup lama, produk yang dihasilkan kurang higienis, dan ketidakseragaman pengeringan [19], [20], [21], [22]. Penurunan kadar air yang tidak terkontrol dapat menyebabkan kerusakan permanen pada biji kopi, seperti rusaknya bentuk fisik dan cita rasa serta hilangnya keasaman dan kesegaran warna [23], [24]. Selain itu, petani dan pengolah kopi sering kali kesulitan memantau kadar air secara *real-time* [25], berisiko menyebabkan penurunan mutu kopi secara keseluruhan. Sehingga diperlukan solusi teknologi yang dapat memberikan pengukuran cepat dan akurat. Teknologi pengukuran kadar air yang ada saat ini sebagian besar masih menggunakan alat konvensional yang bersifat manual, membutuhkan sampel, dan tidak dapat memberikan data secara instan maupun kontinu [26]. Beberapa diantaranya hanya dapat digunakan di laboratorium atau tempat yang memiliki sumber daya listrik yang memadai. Keterbatasan ini menyebabkan alat-alat tersebut tidak efisien digunakan oleh petani kecil di pedesaan, terutama yang memiliki akses terbatas terhadap teknologi dan fasilitas laboratorium.

Seiring berkembangnya teknologi digital dan otomatisasi, muncul kebutuhan untuk merancang alat ukur kadar air biji kopi yang tidak hanya akurat dan efisien, tetapi juga portabel, mudah digunakan di lapangan, dan mampu menyimpan serta menampilkan data secara *real-time*. Salah satu pendekatan yang mulai berkembang adalah penggunaan sensor kapasitif yang memiliki kepekaan tinggi terhadap kadar air [27]. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan perubahan kapasitansi yang terjadi akibat perbedaan kandungan air dalam bahan uji. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kadar air merupakan indikator penting yang memengaruhi kualitas dan keamanan pangan serta harga komoditas [28]. Oleh karena itu, pengukuran kadar air pada komoditas sangat diperlukan untuk menjaga keberlangsungan sistem pangan. Penelitian lain juga mengevaluasi kinerja beberapa sensor kelembapan kapasitif komersial, termasuk DFROBOT, di bawah kondisi laboratorium terkendali. Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun seluruh sensor mampu mendeteksi rentang kelembapan yang penting, tingkat akurasinya bervariasi secara signifikan sehingga diperlukan kalibrasi khusus terhadap jenis media atau substrat yang digunakan [29].

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan alat pengukur kadar air menggunakan sensor YL-69 berbasis Arduino Uno, namun alat tersebut memiliki keterbatasan, seperti ketidakmampuan menyimpan data dan mengukur suhu secara bersamaan [30]. Penelitian lain telah mengembangkan alat pengukur kadar air pada biji kopi dengan sensor kapasitif, namun pengujian hanya dilakukan pada biji kopi robusta [31]. Selain itu, alat-alat konvensional yang digunakan dalam pengukuran kadar air sering kali memiliki tingkat portabilitas yang rendah, sehingga kurang praktis untuk digunakan di lapangan. Untuk itu, penelitian ini merancang alat dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32. Penggunaan mikrokontroler yang lebih canggih seperti ESP32 memberikan keunggulan dibandingkan mikrokontroler generasi sebelumnya seperti Arduino Uno. ESP32 tidak hanya mendukung pengolahan data lebih cepat, tetapi juga memiliki konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth yang memudahkan pengiriman data secara wireless. Alat ini diintegrasikan dengan layar OLED untuk menampilkan data secara langsung, serta modul penyimpanan data berupa kartu SD sebagai sarana dokumentasi dan analisis lanjutan. Dengan fitur-fitur tersebut, alat ini diharapkan dapat mempermudah petani dan pelaku industri kopi dalam memantau dan menjaga kualitas biji kopi sejak tahap awal pascapanen.

Mitra dalam penelitian ini, Bedha Kopi Roastery Kabupaten Jember, sebuah usaha mikro kecil dan menengah yang bergerak di bidang pengolahan dan penyangraian biji kopi. Berdasarkan observasi awal, mitra mengalami kendala dalam menjaga kualitas kopi akibat ketidakakuratan pengukuran kadar air sebelum proses pemanggangan. Kadar air yang tidak optimal dapat memengaruhi hasil sangrai dan mengurangi nilai jual kopi. Melalui pengembangan alat berbasis teknologi ini, diharapkan dapat membantu Bedha Roastery meningkatkan efisiensi dan konsistensi dalam proses produksi, sekaligus memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan kualitas produk UMKM kopi Indonesia.

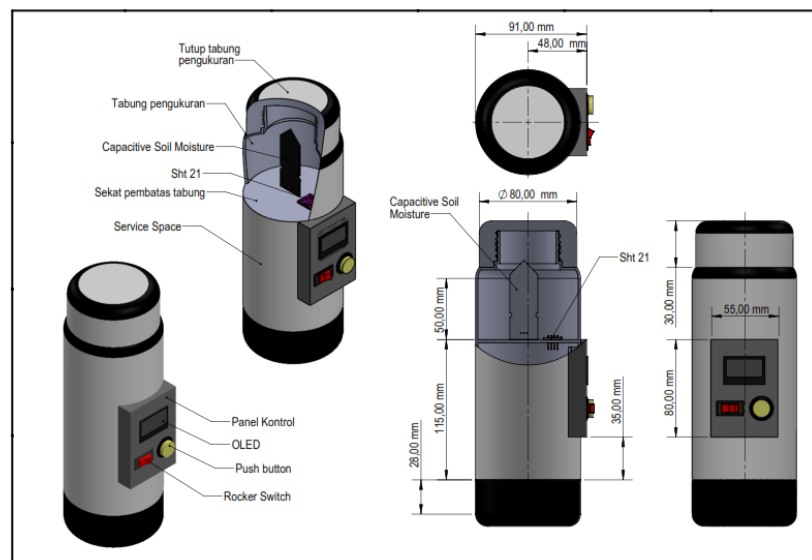
Berdasarkan permasalahan tersebut penelitian ini akan mengembangkan alat pengukur kadar air biji kopi portabel, akurat, dan dapat melakukan penyimpanan data realtime. Alat ini menggunakan sensor kapasitif untuk mengukur kadar air dan sensor SHT21 untuk memantau suhu, dengan data yang ditampilkan secara *real-time* pada layar OLED dan dapat disimpan dalam kartu memori.

2 Metode

Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) level 3, yang bertujuan mengembangkan produk yang sudah ada dengan meningkatkan fungsionalitas dan keakurasiannya. Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari studi literatur, menganalisis penelitian terdahulu terkait pengukuran kadar air biji kopi, observasi lapangan yakni melakukan wawancara dengan petani dan pengolah kopi untuk mengidentifikasi kebutuhan, pembuatan prototipe yakni merancang sistem berbasis ESP32 dengan sensor kapasitif v1.0 dan antarmuka OLED, pengujian dan analisis yakni mengevaluasi akurasi sensor, ketahanan daya, dan penyimpanan data.

2.1 Pembuatan Prototipe

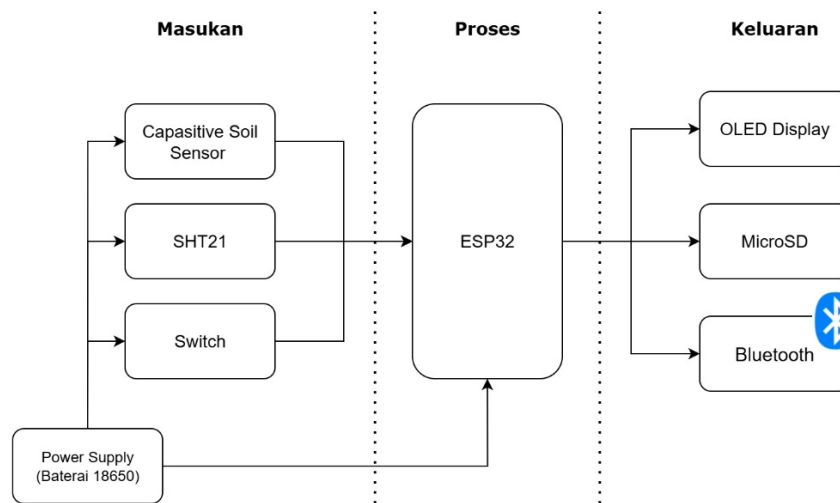
Langkah pertama dalam pengembangan alat ini melibatkan desain konstruksi alat pengukur kadar air biji kopi ditunjukkan pada Gambar 1. Prototipe alat dirancang berbentuk tabung silinder dengan diameter luar 91 mm dan tinggi total 290 mm. Bagian atas tabung dilengkapi tutup tabung pengukuran yang dapat dibuka-tutup untuk memasukkan sampel biji kopi. Di dalamnya terdapat ruang pengukuran yang dilengkapi sensor kelembapan kapasitif (*Capacitive Soil Moisture v1.0*) serta sensor suhu dan kelembapan SHT21. Sensor ditempatkan sejajar ke arah dalam tabung agar mampu mendeteksi kadar air biji kopi secara langsung dan kondisi sekitarnya. Bagian dalam tabung memiliki sekat pembatas yang berfungsi memisahkan area sensor dengan ruang servis (*service space*). *Service space* digunakan untuk menempatkan rangkaian elektronik utama, meliputi ESP32, modul MicroSD, serta rangkaian *power supply*. Dengan pemisahan ini, sampel biji kopi tidak akan mengganggu atau merusak komponen elektronik. Di sisi luar tabung terdapat panel kontrol yang terdiri dari layar OLED, tombol tekan (*push button*), serta *rocker switch*. Layar OLED menampilkan nilai kadar air biji kopi, suhu, dan kelembapan secara *real-time*. Tombol tekan digunakan untuk navigasi atau memilih mode, sementara *rocker switch* berfungsi sebagai saklar utama untuk menyalakan dan mematikan alat. Ruang pengukuran memiliki kapasitas 100 gram biji kopi dengan sensor yang terintegrasi secara vertikal di bagian tengah tabung. Desain ini dilengkapi dengan tutup ulir pada bagian atas untuk memastikan pengukuran yang akurat dengan meminimalkan pengaruh lingkungan. Selain itu, baterai lithium 18650 3.7V digunakan untuk memudahkan penggunaan alat secara portabel di lapangan.



Gambar 1. Rancangan konstruksi prototipe (satuan mm).

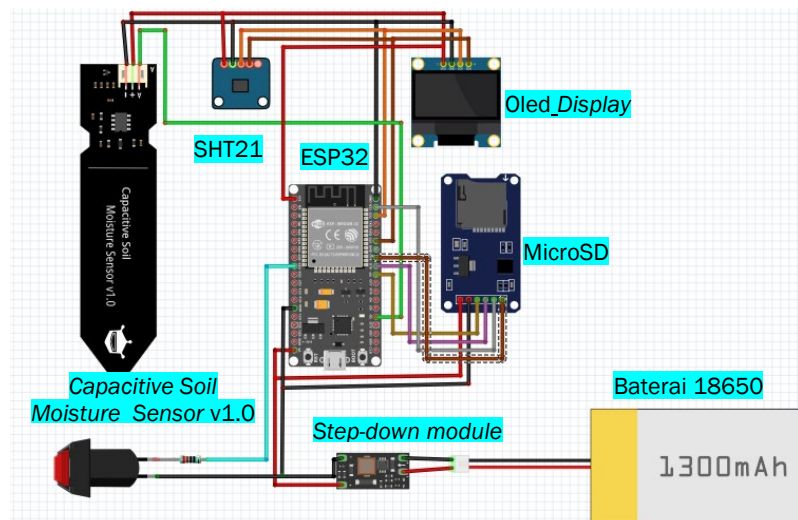
Perancangan sistem elektronik, yang diawali dengan mendesain diagram sirkuit. Tahap ini mencakup penentuan alur koneksi antar komponen untuk memastikan tata letak komponen sesuai dengan kebutuhan fungsional. Proses ini memerlukan pemeriksaan menyeluruh terhadap kontinuitas jalur untuk memastikan tidak ada jalur yang terputus dan *short circuit*. Apabila seluruh jalur telah terverifikasi dengan benar, proses dilanjutkan dengan perakitan komponen elektronik. Pada fase ini, berbagai modul seperti mikrokontroler, sensor, antarmuka tampilan, dan elemen pendukung lainnya dipasang secara fisik pada PCB sesuai dengan

desain yang telah dibuat. Alat pengukur kadar air biji kopi ini dirancang dengan memanfaatkan beberapa komponen utama. ESP32 berperan sebagai mikrokontroler pusat yang bertugas memproses data dari sensor dan mengirimkannya ke layar OLED untuk ditampilkan secara *real-time*. Dengan desain ini, pengguna dapat memperoleh informasi kadar air melalui tampilan OLED. Diagram blok sistem dan pengkabelan ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Diagram blok sistem.

Gambar 3 menunjukkan prototipe sistem pengukur kadar air biji kopi dirancang dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Sumber daya utama berasal dari baterai 18650 3,7v berkapasitas 1300 mAh yang dialirkan melalui modul *step-down* untuk menurunkan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan rangkaian. Dengan demikian, seluruh komponen dapat beroperasi secara stabil dan perangkat bersifat portabel dengan tenaga baterai isi ulang.



Gambar 3. Diagram pengkabelan.

Sensor yang digunakan adalah *Capacitive Soil Moisture Sensor v1.0* yang berfungsi untuk mengukur kadar air biji kopi. Sensor kadar air *Capacitive Soil Moisture Sensor v1.0* menghasilkan keluaran analog yang dibaca oleh pin ADC pada ESP32. Selain itu sensor SHT21 untuk mengukur suhu biji kopi. Data dari SHT21 dikirimkan ke ESP32 melalui jalur komunikasi I2C. Hasil pengukuran ditampilkan secara *real-time* pada layar OLED yang terhubung melalui komunikasi I2C. Melalui tampilan OLED pengguna dapat memantau nilai kelembapan biji kopi, suhu, dan kadar air biji kopi. Data yang diperoleh secara periodik disimpan ke dalam modul MicroSD melalui jalur komunikasi SPI. Secara keseluruhan, sistem ini bekerja dengan alur sebagai berikut: baterai 18650 menyuplai daya ke ESP32 dan seluruh modul melalui *step-down converter*, kemudian ESP32 membaca data dari sensor kelembapan serta sensor suhu dan kelembapan udara. Data yang telah diproses ditampilkan pada display OLED sekaligus disimpan ke dalam kartu memori melalui modul MicroSD. Dengan rancangan ini, alat ukur kadar air biji kopi dapat digunakan secara portabel, memberikan hasil *real-time*, serta memiliki fitur pencatatan data otomatis untuk kebutuhan analisis lanjutan.

2.2 Pengujian

Tahap pengujian alat meliputi evaluasi performa sensor kadar air dan suhu yang telah terpasang dan dikalibrasi sebelumnya. Proses verifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran antara alat yang dikembangkan dengan perangkat referensi untuk mengidentifikasi selisih nilai yang muncul. Pengujian dilakukan dengan 5 kali pengulangan untuk setiap sampel biji kopi, menggunakan sensor YL-69 [12] sebagai referensi kadar air dan termometer digital sebagai acuan suhu terhadap sensor SHT 21 yang terintegrasi dalam sistem. Untuk memastikan validitas data, pengujian dilakukan dengan variasi sampel biji kopi yang berbeda, sehingga dapat diperoleh perbandingan akurat antara kedua jenis sensor dalam mengukur parameter yang sama.

Kesalahan relatif merupakan indikator yang mengukur tingkat deviasi antara dua hasil pengukuran yang diperoleh dari instrumen berbeda. Parameter ini dinyatakan dalam bentuk persentase terhadap nilai acuan, dimana semakin kecil angka persentasenya menunjukkan semakin tingginya tingkat akurasi pengukuran terhadap nilai standar. Dalam konteks penelitian, perhitungan presentase kesalahan relatif (%KR) menjadi kriteria penting untuk mengevaluasi seberapa jauh hasil pengukuran eksperimental menyimpang dari nilai referensi yang dianggap benar. Rumus yang digunakan untuk mengkuantifikasi besaran absolut kesalahan relatif ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\%KR = \left| \frac{\text{Hasil pengujian alat yang dibuat}-\text{hasil alat pembanding}}{\text{hasil alat pembanding}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Akurasi} = (1 - KR) \times 100\% \quad (2)$$

Pengujian daya tahan sistem dilakukan untuk menganalisis performa kelistrikan alat dengan mengukur parameter utama seperti arus, tegangan, dan konsumsi daya selama operasi. Tahap evaluasi ini mencakup pengoperasian alat menggunakan baterai dalam kondisi terisi penuh untuk mengukur durasi penggunaannya hingga daya habis sepenuhnya. Dengan metode pengujian ini, peneliti dapat memverifikasi apakah kapabilitas alat sesuai dengan spesifikasi baterai yang digunakan. Untuk mendapatkan data yang akurat, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan dasar kelistrikan yang relevan.

$$P = V \times I \quad (3)$$

P merupakan simbol pada daya dan untuk mencari daya pada alat dapat menggunakan rumus diatas. Untuk V merupakan simbol dari tegangan dan I adalah simbol dari arus.

$$E = P \times t \quad (4)$$

Rumus energi yang digunakan untuk menghitung energi pada alat dalam hitungan Watt-jam (Wh).

$$E = I \text{ (mA)} \times t \text{ (h)} \quad (5)$$

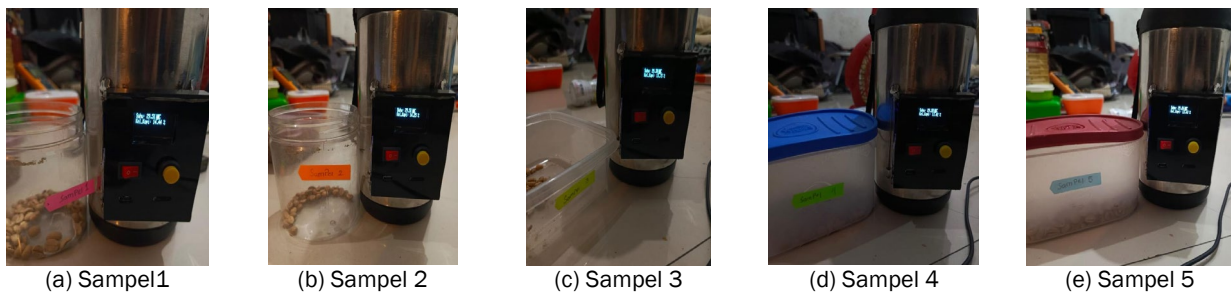
Rumus penggunaan daya baterai dalam jam dimana E (mAh) merupakan Energi dalam satuan jam, I (mA) adalah Arus dalam satuan mili Ampere dan t (h) adalah satuan waktu dalam jam.

3 Hasil dan Diskusi

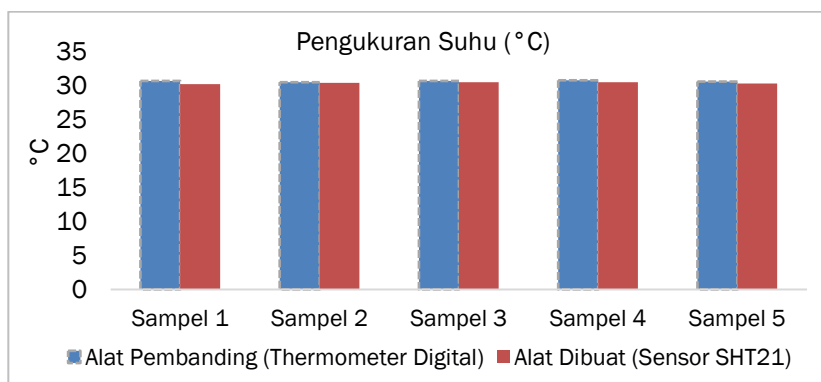
Prototipe alat pengukur kadar air biji kopi yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 4, dengan desain yang mengacu pada diagram sistem sebelumnya (Gambar 2). Alat ini dapat dioperasikan menggunakan catu daya baterai lithium 18650 melalui modul step-up 5V atau melalui port micro-USB. Ketika saklar diaktifkan, layar OLED akan menampilkan informasi awal berupa judul alat, yaitu "*Coffee Bean Moisture Meter*". Untuk memulai pengukuran, pengguna cukup menekan tombol push button yang terpasang pada panel. Setelah tombol ditekan, sensor kapasitif soil moisture v1.0 dan SHT21 akan aktif melakukan pembacaan kadar air dan suhu biji kopi. Data hasil pengukuran akan langsung ditampilkan pada layar OLED. Proses pengukuran berlangsung secara *real-time* dengan waktu respons kurang dari 1 detik. Selain tampilan visual, alat ini juga dilengkapi dengan fitur penyimpanan data otomatis ke dalam kartu microSD. Setiap kali pengukuran selesai, data akan tersimpan dalam format teks (.txt) yang mencakup nomor pengukuran, nilai suhu, dan kadar air. Untuk memastikan keakuratan, alat ini telah dikalibrasi dengan membandingkan hasil pengukurannya terhadap alat referensi (sensor YL-69 dan termometer digital). Proses pengoperasian lengkap beserta tampilan OLED. Dengan desain yang ringkas dan antarmuka yang sederhana, prototipe ini dapat digunakan secara praktis di lapangan oleh petani maupun pengolah kopi. Fitur portabilitas dan kemampuan penyimpanan data menjadikannya solusi efektif untuk pemantauan kualitas biji kopi secara berkala.



Gambar 4. Hasil pembuatan prototipe.

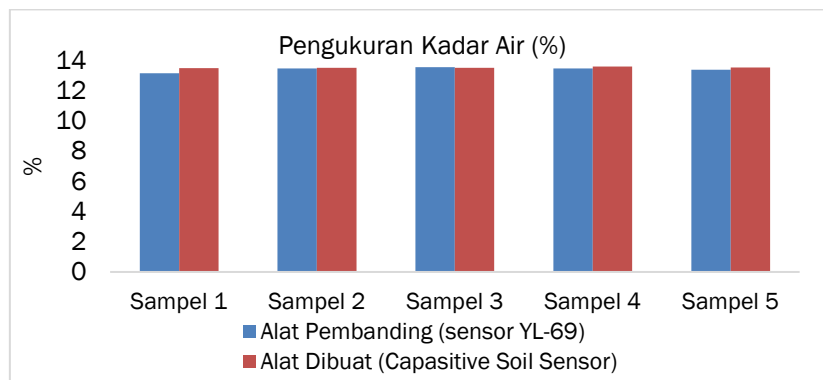


Gambar 5. Pengujian sampel kopi 1 sampai 5.



Gambar 6. Grafik Perbandingan penunjukan suhu dari prototipe alat yang dibuat dengan alat referensi thermometer digital.

Berdasarkan data pengujian yang diperoleh pada Gambar 6, alat pengukur kadar air berbasis ESP32 menunjukkan hasil yang konsisten dengan alat referensi (termometer digital dan sensor YL-69). Pada pengujian pertama, suhu yang terukur oleh alat referensi sebesar 30,7 °C, sedangkan alat yang dirancang mencatat 30,2 °C. Pengujian selanjutnya menunjukkan hasil yang semakin mendekati, dengan suhu alat referensi 30,5 °C–30,8 °C dan hasil alat rancangan 30,3 °C–30,5 °C.



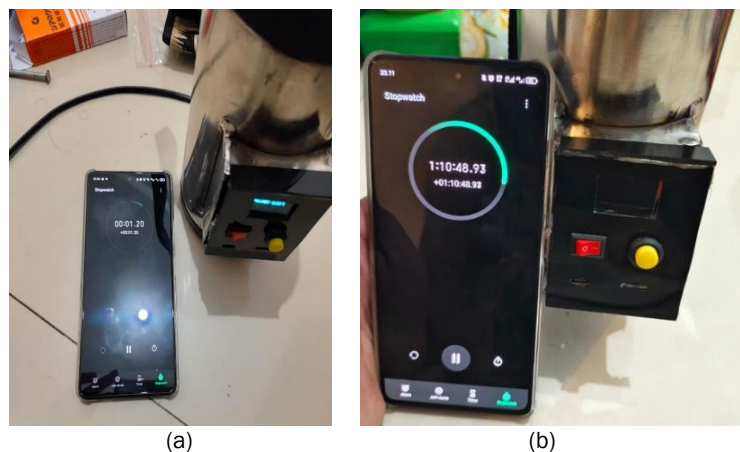
Gambar 7. Grafik Perbandingan penunjukan kadar air dari prototipe Alat yang dibuat dengan alat referensi sensor YL-69.

Berdasarkan hasil pengukuran kadar air pada Gambar 7 menunjukkan konsistensi yang baik. Alat referensi YL-69 mencatat kadar air antara 13,13%–13,54%, sementara alat berbasis ESP32 yang menggunakan sensor Capacitive Soil menunjukkan hasil 13,48%–13,58%.

Pengukuran kadar air berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 1 menghasilkan kesalahan relatif maksimal 5,25% dengan rata-rata 1,05% dan selisih pengukuran suhu menghasilkan kesalahan relatif rata-rata 0,91%, yang masih dalam batas toleransi untuk aplikasi industri kopi [9]. Perhitungan nilai akurasi dengan menggunakan persamaan 2 menunjukkan performa yang baik dengan tingkat akurasi mencapai 98,95% untuk pengukuran kadar air dan 99,09% untuk pengukuran suhu, mengindikasikan tingkat akurasi yang dapat diandalkan. Untuk mempermudah analisis, data pengukuran dirata-ratakan pada setiap sampel, dan selisih antara alat uji dengan alat referensi dihitung. Hasil menunjukkan bahwa alat ini mampu memberikan pembacaan yang akurat dengan kesalahan relatif rata-rata sebesar 1,05% untuk pengukuran kadar air dan 0,91% untuk pengukuran suhu. Berdasarkan spesifikasi sensor dan kalibrasi, alat ini terbatas pada pengujian kondisi ideal biji kopi pasca panen sesuai SNI [9], untuk mengukur rentang kadar air 8–30% yang mencakup kondisi ekstrim biji kopi pada skenario lapangan seperti biji kopi basah lebih dari 30% maupun *over drying* kurang dari 10% atau pada rentang ekstrim direkomendasikan untuk penelitian lanjutan.

Tabel 1. Kesalahan relatif sensor

Sampel	Sensor Kadar Air Biji Kopi (KR%)	Sensor Suhu Biji Kopi (KR%)
1	2,66	1,63
2	0,29	0,33
3	0,36	0,65
4	0,89	0,97
5	1,05	0,98
Kesalahan Relatif Maksimal	5,25	4,56
Rata-rata	1,05	0,91



Gambar 8. Pengujian daya tahan baterai menggunakan timer.

Alat pengukur kadar air biji kopi ini menggunakan baterai lithium-ion 18650 dengan kapasitas 1500 mAh sebagai sumber daya utama. Berdasarkan pengujian, menggunakan persamaan 3, 4, dan 5, alat ini mengonsumsi arus sebesar 1,35 A dengan tegangan 5,19 V, menghasilkan daya sebesar 7 Watt. Dengan kapasitas baterai yang tersedia, alat dapat beroperasi selama sekitar 1,1 jam sebelum baterai habis. Perhitungan energi menunjukkan bahwa alat mengonsumsi 7,7 Wh atau setara dengan 1458 mAh, yang masih dalam batas kapasitas baterai. Efisiensi penggunaan daya ini memungkinkan alat tetap portabel dan praktis untuk digunakan di lapangan. Selain itu, alat ini telah dilengkapi dengan fitur penyimpanan data otomatis pada SD card dan tampilan *real-time* melalui OLED, yang meningkatkan fungsionalitasnya dibandingkan penelitian sebelumnya.

4 Kesimpulan

Alat pengukur kadar air biji kopi berbasis ESP32 dengan sensor kapasitif *soil moisture* telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan desain awal. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, alat ini menunjukkan performa yang baik dengan tingkat akurasi mencapai 98,95% untuk pengukuran kadar air dan 99,09% untuk pengukuran suhu, serta memiliki kesalahan relatif rata-rata sebesar 1,05% kadar air dan 0,91% suhu. Hasil ini membuktikan bahwa sistem yang dikembangkan mampu memberikan pengukuran yang akurat dan konsisten untuk biji kopi. Alat ini juga terbukti portabel dan hemat daya, dengan konsumsi energi sebesar 7,7 Wh selama 1,1 jam pengoperasian. Dengan fitur penyimpanan data dan pemantauan *real-time*, alat ini dapat menjadi solusi bagi petani dan pengolah kopi dalam menjaga kualitas biji kopi. Selain itu, alat ini telah dilengkapi dengan fitur penyimpanan data otomatis pada SD card dan tampilan *real-time* melalui OLED, yang meningkatkan fungsionalitasnya dibandingkan penelitian sebelumnya. Untuk pengembangan selanjutnya yakni pengujian validasi akurasi pada rentang ekstrim untuk biji kopi basah maupun *over-drying*, serta disarankan untuk menambahkan fitur konektivitas IoT seperti pengiriman data berbasis cloud serta memperluas kalibrasi sensor untuk mengukur kadar air pada berbagai varietas kopi dan komoditas pertanian lainnya.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember atas dukungan teknis dan mitra Bedha Kopi Roastery atas bahan pengujian yang digunakan dalam riset ini.

Referensi

- [1] International Coffe Organization, "Coffe Market Report," Sep. 2020. Accessed: Jul. 09, 2025. [Online]. Available: <https://dev.ico.org/news/cmr-1020-e.pdf>.
- [2] D. Nur Aisyah and R. Indriawan, "Peluang Industri Pertanian Komoditas Kopi (Coffe) di Kecamatan Seponti Kabupaten Kayong Utara Desa Sungai Sepeti," *Lipida Jurnal Teknologi Pangan dan Agroindustri Perkebunan*, vol. 4, no. 2, pp. 60–67, 2024, <https://doi.org/10.58466/lipida.v4i2.1648>.
- [3] M. Ikbal, M. C. Dewi, and K. Kharismawan, "Indikasi Geografis sebagai Nilai Tambah Produk Kopi Menuju Pasar Domestik dan Internasional," *Jatiswara*, vol. 38, no. 1, pp. 85–94, 2023, <https://doi.org/10.29303/jtsw.v38i1.449>.
- [4] Suwali, A. Hendri Putranto, V. Bintang Panunggul, D. Putriana Nuramanah Kinding, and F. Novianti, "Analisis Kontribusi Ekspor Kopi Terhadap PDB Sektor Perkebunan di Indonesia," *PJEB: Perwira Journal of Economy & Business Analisis*, vol. 2, no. 2, pp. 32–41, 2022. [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/1451/10c8fc2c587f130ef12abc4becc2196780f3.pdf>.
- [5] B. Soeswanto, N. Lintang Edi Wahyuni, and G. Prihandini, "The Development of Coffee Bean Drying Process Technology-A Review," in *Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021)*, Atlantis Press, 2021, <https://doi.org/10.2991/aer.k.211106.026>.
- [6] E. Firdissa, A. Mohammed, G. Berecha, and W. Garedew, "Coffee Drying and Processing Method Influence Quality of Arabica Coffee Varieties (*Coffea arabica* L.) at Gomma i and Limmu Kossa, Southwest Ethiopia," *J Food Qual*, vol. 2022, 2022, <https://doi.org/10.1155/2022/9184374>.
- [7] Shodiq Eko Ariyanto, Heny Alpandari, Suhariyanto, and Hendy Hendro Hadi Sridjono, "Pengaruh Suhu dan Lama Penyangraian Terhadap Sifat Fisik Kopi Robusta Tempur," *Jurnal Galung Tropika*, vol. 13, no. 1, pp. 107–116, Apr. 2024, <https://doi.org/10.31850/jgt.v13i1.1165>.
- [8] S. Suro Mardjan, E. H. Purwanto, and G. Yoga Pratama, "Pengaruh Suhu Awal Dan Derajat Penyangraian Terhadap Sifat Fisikokimia Dan Citarasa Kopi Arabika Solok," *JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian*, vol. 10, no. 2, pp. 108–122, 2022, <https://doi.org/10.19028/jtep.10.2.108-122>.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, "Biji kopi," 2008. Accessed: Jul. 09, 2025. [Online]. Available: https://www.cctcid.com/wp-content/uploads/2018/08/SNI_2907-2008_Biji_Kopi-1.pdf.
- [10] Barrera-López J, González-Barrios AF, Vélez LF, Ttarquino LF, López H, and Hernandez-Carrión M, "Evaluation of roasting and storage conditions as a strategy to improve the sensory characteristics and shelf life of coffee," *Food Science and Technology International*, vol. 30, no. 3, pp. 207–217, 2022, <https://doi.org/10.1177/10820132221139890>.
- [11] B. Girma and A. Sualeh, "A Review of Coffee Processing Methods and Their Influence on Aroma," *International Journal of Food Engineering and Technology*, vol. 6, no. 1, p. 7, 2022, <https://doi.org/10.11648/j.ijfet.20220601.12>.
- [12] R. Priamudi and C. Bella, "Alat Uji Kadar Air pada Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO R3," *Jurnal Portal Data*, 2022, <http://portaldata.org/index.php/portaldata/article/view/76>.

- [13] C. Viegas et al., "Microbial Contamination in the Coffee Industry: An Occupational Menace besides a Food Safety Concern?," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 20, Oct. 2022, <https://doi.org/10.3390/ijerph192013488>.
- [14] R. A. Winarno, M. I. B. Peranginangin, and N. V. Sembiring, "Karakteristik Sifat Kimia Biji Kopi Arabika dengan Beberapa Metoda Pengolahan di Kabupaten Simalungun Provinsi Sumatera Utara," *Agrivet: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian dan Peternakan (Journal of Agricultural Sciences and Veteriner)*, vol. 9, pp. 237–243, Dec. 2021, <https://doi.org/10.31949/agrivet.v9i2.1701>.
- [15] A. Nur rizky, A. Muarif, S. Bahri, N. Sylvia, E. Kurniawan, and W. U. Fibarzi, "Pengaruh Temperatur Roasting Biji Kopi Terhadap Kandungan Kafein Menggunakan Spektrofotometri UV-VIS," *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, vol. 3, no. 1, 2023, <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i1.9279>.
- [16] Mutiara, A. Rustam, and N. Nurindah, "Cita rasa khas kopi Topidi melalui proses panen hingga metode pengolahan dry process dan full wash," *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, vol. 3, no. 1, pp. 44–54, Apr. 2023, <https://doi.org/10.24252/filogeni.v3i1.20678>.
- [17] R. Damayanti, W. D. Ristianingrum, N. Ubaidillah, D. Firmanda, and A. Riza, "Prediction of Robusta green bean coffee moisture content based on bioelectric properties with artificial neural network method," in *Adv. in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, Malang: Faculty of Agricultural Tech., 2023. [Online]. Available: <https://afssaae.ub.ac.id/view/1910>.
- [18] T. N. Sandeep, B. B. Channabasamma, T. N. Gopinandhan, and J. S. Nagaraja, "The effect of drying temperature on cup quality of coffee subjected to mechanical drying," *Journal of Plantation Crops*, vol. 49, no. 1, pp. 35–41, May 2021, <https://doi.org/10.25081/jpc.2021.v49.i1.7059>.
- [19] E. M. Meja, S. K. Dubbe, A. Bekele, K. F. Wolde, and M. S. Adaramola, "Investigating the Performance and Optimization of Solar Coffee Drying Technologies—A Systematic Review," *J Food Process Preserv*, vol. 2025, no. 1, Jan. 2025, <https://doi.org/10.1155/jfpp/7907660>.
- [20] S. Nuryati Afriani, I. Hadi, "Prototype Sistem Pengering Biji Kopi Otomatis Berbasis Web Server," *Prosiding SENIATI*, vol. 5, pp. 214–218, 2019. [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/841/>.
- [21] N. Nafisah, I. N. Syamsiana, W. Kusuma, R. I. Putri, and A. D. W. Sumari, "Analisa Perbandingan Pengaturan Suhu Berbasis Logika Fuzzy Interferensi Sugeno dan Mamdani pada Alat Pengering Biji Kopi," *Agroteknika*, vol. 6, no. 2, pp. 272–288, Dec. 2023, <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v6i2.240>.
- [22] I. Dhamayanthie, "Analisis Metode Pengurangan Kadar Air pada Biji Kopi," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 6, no. 2, 2022, <https://doi.org/10.31004/jptam.v6i2.4366>.
- [23] D. Rizkiana, A. Abidin, R. Mulaisari, and M. Ridlo, "Rancang Bangun Smart Eco Roasting Machine Kapasitas Maksimum 750 Gram dengan Sistem Perekaman Data Logger untuk Kontrol Kualitas Kopi," *Jambura Journal of Food Technology (JJFT)*, vol. 6, 2024, <https://doi.org/10.32528/jp.v9i1.1040>.
- [24] Nur Hasanah, Dayang Berliana, and Fitriani Fitriani, "Analisis Keuntungan dan Nilai Tambah Pengolahan Biji Kopi menjadi Kopi Bubuk di Kecamatan Way Tenong Kabupaten Lampung Barat," *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, vol. 3, no. 1, pp. 678–688, Sep. 2022, <https://doi.org/10.47687/snppvp.v3i1.346>.
- [25] F. Dina Rizkina, A. Abidin, R. Martha Muliasari, and M. Zainur Ridlo, "Rancang Bangun Smart Eco Roasting Machine Kapasitas Maksimum 750 Gram dengan Sistem Perekaman Data Logger untuk Kontrol Kualitas Kopi," *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, Aug. 2024, <https://doi.org/10.32528/jp.v9i1.1040>.
- [26] H. A. Setyabudhi and A. Wibowo, "Pengujian Kadar Air Benih Kopi dengan Empat Metode Persiapan Sampel Berbed," 2021, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/396220062>.
- [27] A. Muzakhim Imammuddin et al., "Pengaruh Roasting Kopi Dampit Terhadap Nilai Permeativitas Relatif Kopi Dampit," *Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, vol. 11, no. 4, pp. 182–187, 2021, <https://doi.org/10.33795/jartel.v11i4.252>.
- [28] D. Adi Firmansyah et al., "Perancangan Purwarupa Pengukur Kadar Air dan Kualitas Pangan Komoditas Beras dan Jagung Menggunakan Sensor Kapasitif Design of a Moisture Content and Quality Meter Prototype for of Rice and Corn Food Commodities Using a Capacitive Sensor," *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 16, no. 2, pp. 117–7, 2024, <https://doi.org/10.5614/joki.2024.16.2.6>.
- [29] M. A. Gümüser, A. Pichlhöfer, and A. Korjenic, "A Comparison of Capacitive Soil Moisture Sensors in Different Substrates for Use in Irrigation Systems," *Sensors*, vol. 25, no. 5, p. 1461, Feb. 2025, <https://doi.org/10.3390/s25051461>.
- [30] Ulfa, S. Syahreza, Irhammi, M. S. Surbakti, and Fauzi, "Aplikasi Sensor SHT-11 Sebagai Alat Pendeteksi Kadar Air Pada Biji Kopi," *KITEKTRO: Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, vol. 6, no. 2, p. 16, 2021, <https://doi.org/10.24815/kitektro.v6i2.21195>.
- [31] A. N. Tompunu, T. Hafizhah, and M. T. Handayani, "The Moisture Content of Robusta Coffee Beans is dried in the Sun and the Room Temperature is measured with a Microcontroller-based Moisture Content Analyzer," *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, vol. 4, no. 3, pp. 17–22, Dec. 2024, <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v4i3.330>.