

Design Perangkat Pemantauan Pada Alat Pemantauan Dan Penyiraman Tanaman Kopi Dan Nutrisi Tanah Otomatis Berdasarkan Suhu, Kelembaban, Dan Keasaman Berbasis Iot

1st Sulhan Syahli Salihima
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

sulhansyahli@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Sofia Naning Hertiana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

sofiananing@telkomuniversity.ac.id

3rd Nyoman Bogi Aditya Karna
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

aditya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Indonesia memiliki kondisi geografis yang sangat cocok untuk budidaya kopi. Dengan keanekaragaman topografi, iklim tropis, ketinggian tempat yang bervariasi, dan tanah yang subur, kondisi ini mendukung pertumbuhan kopi. Beberapa tantangan yang muncul adalah kemarau panjang akibat perubahan iklim, lahan yang berada sekitar pegunungan dan jauh dari pemukiman, dan masih banyaknya petani konvensional yang kurang efektif. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem otomatisasi berbasis Internet of Things (IoT) untuk monitoring dan pengelolaan penyiraman serta nutrisi tanah pada tanaman kopi di Desa Sukarame, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Solusi yang ditawarkan dalam penelitian ini meliputi deteksi kelembaban tanah untuk menentukan kebutuhan penyiraman, pemantauan suhu dan kelembaban udara, serta pengukuran pH tanah untuk memastikan nutrisi yang optimal bagi tanaman kopi. Sistem ini menggunakan berbagai sensor dan komponen utama, termasuk mikrokontroler ESP32, sensor kelembaban tanah soil moisture sensor, sensor suhu dan kelembaban udara DHT11, sensor pH tanah, serta sensor untuk mengukur kandungan nutrisi makro tanah seperti NPK yaitu sensor RS485. Sumber energi untuk sistem ini disuplai oleh panel surya, dan konektivitas internet difasilitasi oleh MiFi Orbit Star. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini dikirimkan secara real-time ke server, di mana informasi tersebut diakses dan ditampilkan melalui antarmuka web, memungkinkan pemantauan jarak jauh yang efisien. Hasil penelitian menunjukkan teknologi IoT dan sensor yang terintegrasi memberikan solusi inovatif yang dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional dalam budidaya tanaman kopi. Tingkat akurasi sensor yang didapat dari sensor NPK RS485 dibanding sensor analog adalah 99,91% untuk nilai Nitrogen, 99,70% untuk nilai Fosfor, dan 99,80% untuk nilai Kalium. Implementasi sistem ini diharapkan tidak hanya mengurangi kebutuhan intervensi manual tetapi juga mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dampak positif dari penggunaan sistem ini mencakup peningkatan kualitas hasil panen, efisiensi penggunaan sumber daya, dan pemantauan kondisi kebun yang lebih akurat.

Kata kunci : Budidaya Kopi, Internet of Things (IoT), ESP32, NPK, Website

I. PENDAHULUAN

Kopi telah menjadi bagian penting dari sejarah Indonesia sejak abad ke-17. Pertama kali diperkenalkan oleh bangsa Belanda, budidaya kopi berkembang di wilayah Jawa dan segera menyebar ke pulau-pulau lainnya seperti Sumatra, Sulawesi, dan Bali. Indonesia memiliki kondisi geografis yang sangat cocok untuk budidaya kopi. Dengan keanekaragaman topografi, iklim tropis, ketinggian tempat yang bervariasi, dan tanah yang subur, kondisi ini mendukung pertumbuhan kopi Indonesia adalah produsen utama kopi, dengan sejarah yang kaya dan kontribusi yang signifikan terhadap perekonomian negara[1]. Budidaya kopi memiliki peran penting dalam ekonomi Indonesia. Ini memberikan mata pencaharian bagi ribuan petani dan masyarakat di daerah-daerah penghasil kopi. Selain itu, kopi juga menjadi salah satu komoditas ekspor utama yang memberikan kontribusi besar terhadap pendapatan negara. Ada dua jenis kopi yang umum dibudidayakan di Indonesia yaitu Kopi Robusta dan Kopi Arabika. Meskipun memiliki posisi yang kuat dalam industri kopi global, budidaya kopi di Indonesia juga menghadapi tantangan. Perubahan iklim, medan geografis, dan kurangnya sumber daya manusia yang dapat menghasilkan biji kopi secara efisien adalah beberapa di antaranya. Oleh karena itu, inovasi dalam teknik budidaya, pengolahan, dan pemasaran sangat penting untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas kopi Indonesia[2].

Desa Sukarame Kecamatan Pacet, yang terletak di Kabupaten Bandung terkenal dengan produksi biji kopi dari petani tradisional yang dijual melalui pengepul di pasar lalu didistribusikan ke beberapa coffee shop di Kota Bandung. Untuk menjaga kualitas dan rasa biji kopi diperlukan perawatan yang terus-menerus. Namun, ada

beberapa masalah yang terjadi terkait dengan budidaya tanaman kopi yang seringkali mengalami gagal panen. Masalah yang dialami oleh petani kopi di Desa Sukarame adalah sulitnya melakukan penyiraman ketika musim kemarau dikarenakan medan geografis yang berupa perbukitan dan pemantauan nutrisi tanah untuk menjaga kualitas kopi secara berkala. Akibatnya, resiko gagal panen yang dialami petani meningkat ketika memasuki musim kemarau.

Penerapan teknologi penyiraman otomatis dan pemantauan nutrisi tanah menjadi solusi yang sangat berharga untuk budidaya tanaman kopi di lahan perbukitan. Untuk itu, hambatan yang dihadapi petani di Desa Sukarame bisa dikurangi dengan menerapkan sistem irigasi otomatis yang terprogram dan dapat membantu dalam pengelolaan air secara efisien. Dalam kondisi perbukitan yang sulit diakses, sistem irigasi otomatis akan memastikan tanaman kopi mendapatkan air yang cukup secara konsisten. Penggunaan sensor kelembaban tanah juga akan membantu untuk memberikan air sesuai kebutuhan tanaman. Pemantauan nutrisi tanah menggunakan sensor yang ditanam di berbagai titik di kebun kopi dapat memberikan informasi secara berkala mengenai tingkat kelembaban, pH tanah, dan kadar nutrisi[1]. Data dari sensor-sensor ini bisa dipantau dan dianalisis secara daring, memungkinkan petani untuk mengambil tindakan yang tepat dalam memberikan pupuk yang sesuai dan menjaga keseimbangan nutrisi tanah[3]. Memastikan bahwa penerapan teknologi tersebut berkelanjutan dengan mempertimbangkan aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial bagi petani serta lingkungan sekitar. Penerapan solusi teknologi seperti ini pada budidaya kopi di lahan perbukitan dapat membantu petani meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas kopi yang dihasilkan sambil tetap menjaga keberlanjutan lingkungan.

II. KAJIAN TEORI

A. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah sistem berbiaya rendah dan berdaya rendah pada mikrokontroler chip dengan WiFi terintegrasi dan Bluetooth mode ganda. Konsumsi dayanya yang sangat rendah melalui fitur hemat daya termasuk pengaturan jam resolusi halus, beberapa mode daya, dan penskalaan daya dinamis..

B. *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) adalah gagasan yang menghubungkan berbagai perangkat, seperti sensor, ke internet dan dimaksudkan untuk mempermudah pekerjaan manusia karena mereka dapat berfungsi secara otomatis [4]. Cara kerja IoT termasuk menghubungkan perangkat keras dan perangkat lunak ke jaringan internet. Proses dimulai dengan sensor mengumpulkan data, yang kemudian dikirimkan ke *database* menggunakan koneksi wifi.

C. Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang berfungsi untuk membuat program perintah dan mengirimkan program perintah ke papan mikrokontroler. Arduino IDE

digunakan untuk membuat, merubah, dan mengunggah kode.

D. *Sensor NPK RS485*

Sensor NPK RS485 adalah sensor yang membaca kadar nitrogen(N), fosfor(F), dan kalium(K) yang merupakan nutrisi macro yang sangat dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan dan juga pematangan. Dengan memantau kadar nitrogen(N), fosfor(F), dan kalium(K) yang ada pada tanah dapat membantu petani dalam menjaga kondisi tanah untuk tetap subur sesuai dengan yang dibutuhkan oleh tanaman kopi. Sensor ini dilengkapi dengan 3 probe yang berfungsi masing-masing mengukur nilai NPK. Sensor ini dilengkapi dengan modul tambahan yaitu MAX485 Modul RS-485 TTL yang berfungsi untuk menghubungkan sensor NPK ke ESP32.

E. *Sensor pH tanah Arduino*

Sensor pH tanah adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau alkalinitas tanah. Sensor ini memberikan nilai pH yang mengindikasikan seberapa asam atau basa tanah tersebut. Informasi ini penting karena pH tanah mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Tanaman biasanya tumbuh lebih baik dalam rentang pH tertentu, jadi pengukuran pH tanah membantu petani menyesuaikan kondisi tanah untuk pertumbuhan tanaman yang optimal.

F. *Sensor Suhu DHT11*

Sensor DHT11 adalah sensor suhu dan kelembaban yang mencakup komponen pengukuran kelembaban tipe resistif dan komponen pengukuran suhu NTC. Sensor ini dikalibrasi dari pabrik dan mengeluarkan data serial, sehingga mudah digunakan dan diatur. Sensor ini memiliki empat pin: Vcc, Data, NC, dan Ground. Catu dayanya adalah 3,5-5,5V DC, dan memiliki konsumsi daya yang rendah yaitu 0,3mA saat mengukur dan 60uA saat siaga[5].

G. Kabel Tembaga

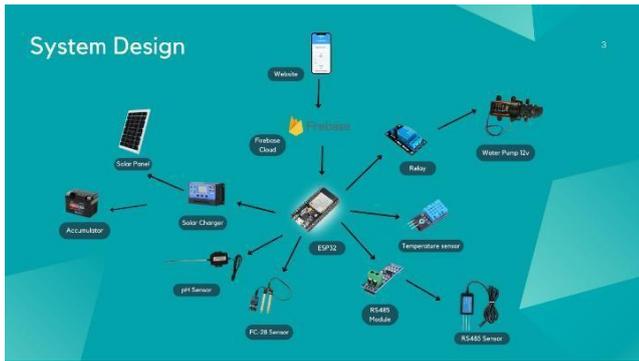
Kabel tembaga tunggal adalah jenis kabel yang terdiri dari satu inti tembaga saja. Kabel ini biasanya digunakan untuk aplikasi sistem kelistrikan dan rangkaian kabel. Kabel tembaga tunggal dapat menawarkan kapasitas arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan kabel tembaga serabut.

H. Firebase

Firebase, sebagai platform pengembangan berbasis cloud dari Google, menyajikan fitur keamanan bawaan yang menyediakan otentikasi pengguna, otorisasi akses data, dan manajemen identitas. Namun, sejumlah batasan perlu diperhatikan. Platform ini memiliki keterbatasan dalam cakupan fitur keamanan bawaan, yang mungkin memerlukan pemikiran ekstra untuk proyek-proyek dengan kebutuhan keamanan yang sangat kompleks.

B. Diagram alur sistem pemantauan METODE

A. Diagram Alur *System*



GAMBAR 1
Diagram Alur Sistem

Pada gambar 1 ESP32 akan dihubungkan dengan baterai yang sumber listriknya berasal dari panel surya untuk mengaktifkannya. Sensor kelembaban tanah, sensor kelembaban lingkungan, sensor NPK, serta sensor pH disambungkan dengan ESP32 menggunakan kabel tembaga tunggal. Sensor kelembaban tanah, sensor pH, dan sensor NPK akan diletakkan didalam tanah pada kedalaman 40cm dekat dengan pohon kopi untuk sensor suhu lingkungan akan ditempat terbuka yang dekat dengan pohon kopi[6]. Pompa air akan dihubungkan dengan ESP32 agar bisa mengontrol penyiraman otomatisnya. *Wifi portable* akan diletakkan bersama ESP32 di dalam wadah untuk menjaga kestabilan koneksinya. Data dari sensor akan dikirimkan dari ESP32 yang terhubung dengan internet ke *database* untuk dikumpulkan dan ditampilkan di *website*.

Pada Gambar 2 menjelaskan skema pada alat yang akan dibuat. Pertama, panel surya berfungsi sebagai pemasok listrik yang nantinya akan disimpan dalam baterai, dan sebagai pemasok daya untuk ESP32 dan juga sensor-sensornya. ESP32 yang aktif, selanjutnya akan mengumpulkan data suhu, kelembapan, pH tanah dan juga zat hara dari sensor DHT11, *soil moisture*, sensor pH tanah serta sensor RS485. Penyiraman otomatis akan aktif jika suhu lebih dari 25° dan kelembapan pada tanah berada kurang dari 70%, dan nantinya akan mengaktifkan pompa air dan air akan dialirkan melalui selang untuk sistem irigasi *drip watering* di sekitar pohon kopi sampai kondisi tanah mencapai kondisi kelembapan pada tanah lebih dari 70%. Data yang terkumpul akan dikirimkan ke *database* dari ESP32 yang terhubung dengan *WiFi* dan dari *database* akan ditampilkan melalui *website dashboard*. Jika kadar nitrogen(N) <150 mg/kg, fosfor(P) <50 mg/kg, kalium(K) <250 mg/kg akan muncul pemberitahuan pada *website* yang menandakan tanah sedang tidak subur[7].

C. Source Code

```

1 #include <WiFi.h>
2 #include <Firebase_ESP_Client.h>
3 #include "addons/TokenHelper.h"
4 #include "addons/RTDBHelper.h"
5 #include <HTTPClient.h>
6 #include <WiFiUDP.h>
7 #include <time.h>
8 #include <SoftwareSerial.h>
9 #include <Wire.h>
10
11 #define WIFI_SSID "TseIhome-AAB0"
12 #define WIFI_PASSWORD "60543791"
13 // #define WIFI_SSID "triples"
14 #define WIFI_PASSWORD "triples123"
15 #define API_KEY "AIzaSyAFSecafY5XDY62k8930B2BMS-vw3k8R5"
16 #define DATABASE_URL "https://testing-9e477-default-rtdb.asia-southeast1.firebaseio.com/"
17 // #define DATABASE_URL "https://dhtiot-42a68-default-rtdb.asia-southeast1.firebaseio.com/"
18 FirebaseData fbdo;
19 FirebaseAuth auth;
20 FirebaseConfig config;
21
22
23 unsigned long sendDataPrevMillis = 0;
24 unsigned long lastSendTime = 0;
25 unsigned long previousMillis = 0;
26
27 bool signupOk = false;
28 #include <DHT.h>
29 #define DHTPIN 14
30 #define DHTTYPE DHT11
31 #define sensor 33
32 #define PUMP 32
33 #define LED_BUILTIN 2

```

```

133
134
135 timeClient.update();
136 time_t now = timeClient.getEpochTime();
137 struct tm *timeinfo = localtime(&now);
138 char time_str[25];
139 strftime(time_str, sizeof(time_str), "%Y:%m:%d:%H:%M:%S", timeinfo);
140
141 sendDataPrevMillis = millis();
142 float t = dht.readTemperature();
143 int n = analogRead(sensor);
144 int l = (100 - ((n - 600)*0.02442002442002442002442002442002));
145
146 Serial.print(F("Suhu: "));
147 Serial.print(t);
148 Serial.print(F("°C "));
149 Serial.print("% K. Tanah: ");
150 Serial.print(n);
151 Serial.print(" dan");
152 Serial.print(l);
153 Serial.print(" % adc=");
154 Serial.println(a);
155 Serial.print(" dan pH= ");
156 Serial.println(outputvalue);
157 Serial.print("Nitrogen: ");
158 Serial.print(val1);
159 Serial.println(" mg/kg");
160 Serial.print("Phosphorous: ");
161 Serial.print(val2);
162 Serial.println(" mg/kg");
163 Serial.print("Potassium: ");
164 Serial.print(val3);
165 Serial.println(" mg/kg");
166
167 int x = 1;
168 int y = 0;
169 if (l < 70) {
170   FirebaseJson pumpJson;
171   pumpJson.set("/value", x);
172   pumpJson.set("timestamp", time_str);
173   Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo, "/data/pompa", &pumpJson);
174 }
175 else if (l > 70) {
176   FirebaseJson pumpJson;
177   pumpJson.set("/value", y);
178   pumpJson.set("timestamp", time_str);
179   Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo, "/data/pompa", &pumpJson);
180 }
181 delay(100);
182
183 timeinfo = localtime(&now);
184 int hour = timeinfo->tm_hour; // get current hour
185 int minute = timeinfo->tm_min; // get current minute
186 int sec = timeinfo->tm_sec; // get current sec
187
188
189 FirebaseJson suhuJson;
190 suhuJson.set("/value", t);
191 suhuJson.set("timestamp", time_str);
192
193 FirebaseJson kelembapanJson;
194 kelembapanJson.set("/value", l);
195 kelembapanJson.set("timestamp", time_str);
196
197 Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo, "/data/suhu", &suhuJson);
198 Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo, "/data/Kelembapan Tanah", &kelembapanJson);
199

```

```

199 int dayOfWeek = timeIn(24*60*60); // get day of the week (0 = Sunday, 1 = Monday, ..., 6 = Saturday)
200 if (dayOfWeek == 1 && hour == 12 && minute >= 0 && sec <= 5) { // 1 = Monday, 12 = 12PM, 0 = 0 minutes
201
202   FirebaseJson pHData;
203   pHData.set("value", outputValue);
204   pHData.set("timestamp", time_str);
205
206   FirebaseJson KData;
207   KData.set("value", w11);
208   KData.set("timestamp", time_str);
209
210   FirebaseJson pData;
211   pData.set("value", w11);
212   pData.set("timestamp", time_str);
213
214   FirebaseJson KData;
215   KData.set("value", w11);
216   KData.set("timestamp", time_str);
217
218   Firebase_HTTP_postJSON($Fbdo, "data/m_tanah", ApHData);
219   Firebase_HTTP_postJSON($Fbdo, "data/k", KData);
220   Firebase_HTTP_postJSON($Fbdo, "data/p", pData);
221   Firebase_HTTP_postJSON($Fbdo, "data/s", SData);
222 }
223 digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
224 delay(500);
225 }

```

GAMBAR 3. Source Code

Kodingan dibuat menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Perangkat lunak Arduino IDE memungkinkan mendukung pembuatan, compile, dan unggah kode ke papan ESP32 dengan tambahan library board ESP32.

D. Skematik Rangkaian Perangkat Pemantauan

Pada gambar 4 adalah skematik rangkaian seluruh perangkat pemantauan dan sistem penyiraman otomatis. Perancangan skematik menggunakan perangkat lunak fritzing.

E. Firebase



GAMBAR 5. Tampilan Database Firebase

Gambar 5 menunjukkan tampilan database dari firebase untuk menyimpan semua data dari pembacaan sensor-sensor. Data yang disimpan meliputi kelembapan tanah, NPK, pH tanah, status pompa, dan suhu udara

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sensor - sensor yang digunakan akan diukur dengan cara kalibrasi sensor. Pengukuran dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa akurat hasil dari sensor yang digunakan. Pengukuran dilakukan dengan cara membandingkan nilai ukur sensor yang akan digunakan dengan sensor lain yang sudah dijamin akurat nilainya. Berikut adalah penjelasan detail terkait implementasi ini:

A. Kalibrasi sensor suhu DHT11

Presisi sebuah sensor didapatkan dengan persamaan deviasi sebagai berikut:

$$presisi\% = \left(1 - \left|\frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n}\right|\right) 100\% [8]$$

Dimana $presisi\%$ adalah nilai presisi dalam bentuk persen, X_n adalah rata-rata nilai ukur sensor yang

digunakan dan \bar{X}_n adalah rata-rata nilai ukur sensor konvensional.

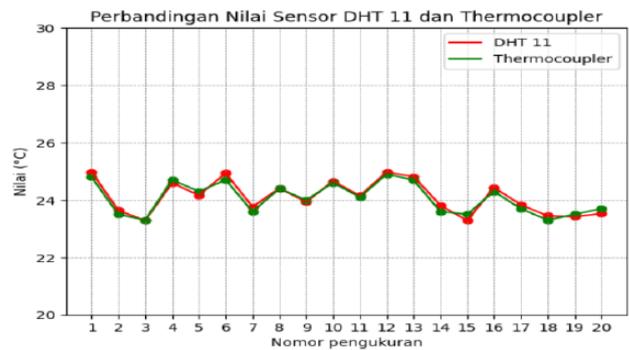
No	Nilai suhu	Thermocoupler	Error Rate (%)
1	24.8 °C	24.8 °C	0
2	23.5 °C	23.5 °C	0
3	23.4 °C	23.3 °C	0.43
4	23.4 °C	24.7 °C	0.45
5	24.5 °C	24.3 °C	0.82
6	24.7 °C	24.7 °C	0
7	24.6 °C	23.6 °C	3.81
8	23.7 °C	24.4 °C	3.28
9	24.4 °C	24.0 °C	2.92
10	24.2 °C	24.6 °C	0.81
11	24.6 °C	24.1 °C	0.41
12	24.6 °C	24.9 °C	1.2
13	23.6 °C	24.7 °C	4.45
14	23.6 °C	23.6 °C	0
15	24.2 °C	23.5 °C	4.68
16	23.8 °C	24.3 °C	4.53
17	23.2 °C	23.7 °C	0.42
18	23.5 °C	23.3 °C	0.43
19	23.87 °C	23.5 °C	0
20	24.2 °C	23.7 °C	0.72
Rata-Rata	24.0435 °C	24.06 °C	0.25
Presisi	97.87%	-	-

Tabel 1. Hasil Ukur Suhu Menggunakan DHT11 dan Thermocouler

Kesalahan pengukuran sensor DHT11 didapat dengan cara menghitung rata-rata error rate dari hasil ukur nilai suhu[9]. Perhitungan error dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$DHT\ error\% = \frac{suhu\ Thermocoupler - suhu\ DHT11}{suhu\ Thermocoupler} \times 100\% [9]$$

Setelah dihitung menggunakan persamaan diatas, didapat rata-rata error DHT11 adalah 0.25%. Berdasarkan rata-rata error, bisa diartikan rata-rata akurasi sensor DHT11 adalah 99,75%.



GAMBAR 6.

Grafik Hasil kalibrasi sensor DHT11

Dari Gambar 6, perbandingan sensor DHT11 dengan thermocoupler didapatkan akurasi sensor DHT11 dengan

rata-rata 99,75%. DHT11 diukur tingkat presisi dengan cara menghitung deviasi dari hasil ukur dan didapat nilai presisi sebesar 97.87%. Dapat diartikan bahwa sensor DHT11 bekerja dengan sangat baik karena memiliki akurasi dan presisi yang akurat dalam mengukur suhu sekitar.

B. Kalibrasi sensor pH tanah

TABEL 2.
Hasil Ukur Sensor pH Tanah Arduino

No	Nilai pH tanah	Nilai pH Tanah Analog	Error Rate
1	5.81	5.76	0.86
2	6.2	6.2	0
3	5.9	5.9	0
4	6.11	6.1	0.16
5	5.7	5.67	0.52
6	6.32	6.3	0.31
7	5.6	5.61	0.17
8	6.0	6.033	0.49
9	6.0	5.956	0.67
10	6.24	6.2	0.64
11	5.8	5.79	0.17
12	6.12	6.1	0.32
13	5.71	5.7	0.17
14	6.0	6.0	0
15	5.96	5.9	1.01
16	6.23	6.2	0.48
17	5.79	5.8	0.17
18	6.1	6.09	0.16
19	5.7	5.68	0.35
20	5.94	6.0	1.00
Rata-rata	96.60%	5.96	0.36
Presisi	97.87%	-	-

Cara mendapatkan error rate sensor pH adalah menggunakan persamaan sebagai berikut:

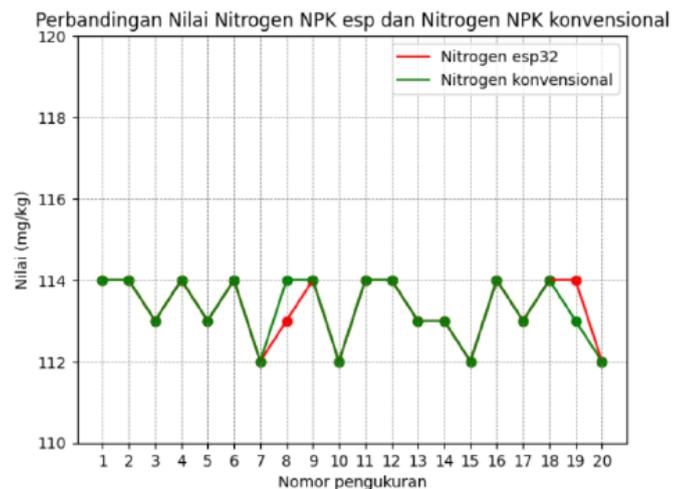
$$pH\ error\% = \left(1 - \frac{|pH\ analog - pH\ arduino|}{pH\ analog} \right) 100\% [8]$$

Dari Gambar 5.2, didapat perbandingan nilai sensor pH tanah arduino dan sensor pH tanah analog dengan akurasi 99,64%. Tingkat presisi dari sensor pH tanah arduino didapat dengan cara menghitung deviasi dari nilai ukur sensor dan didapat deviasi sebesar 96.60% dengan kata lain tingkat presisi akurat. Dapat diartikan bahwa sensor pH tanah arduino dapat bekerja dengan sangat baik karena tingkat akurasi dan presisi yang akurat dalam mengukur pH tanah.

C. Kalibrasi Sensor NPK tanah

No	Nilai Nitrogen ESP32	Nilai Nitrogen Konvensional	Error Rate (%)
1	114	114	0.00
2	114	114	0.00
3	113	113	0.00
4	114	114	0.00
5	113	113	0.00
6	114	114	0.00
7	112	112	0.00
8	113	114	0.88
9	114	114	0.00
10	112	112	0.00
11	114	114	0.00
12	114	114	0.00
13	113	113	0.00
14	113	113	0.00
15	112	112	0.00
16	114	114	0.00
17	113	113	0.00
18	114	114	0.00
19	114	113	0.88
20	112	112	0.00
Rata-rata	113.3	113.3	0.44
Presisi	99.31%	-	-

TABEL 3
Nilai Nitrogen



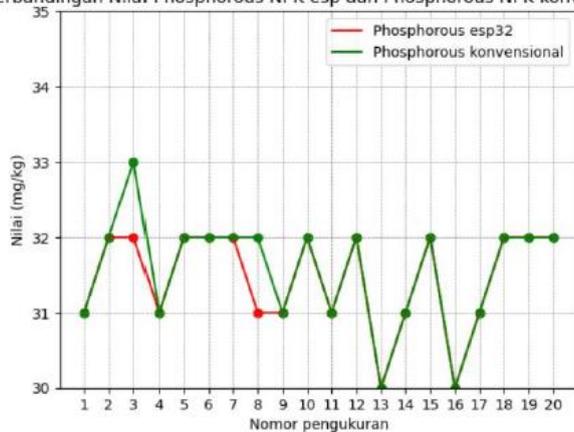
GAMBAR 7.
Grafik Hasil Sensor NPK Nitrogen

TABEL 4
Nilai Phosphorus

No	Nilai Phosphorous ESP32	Nilai Phosphorous Konvensional	Error Rate (%)
1	31	31	0.00
2	32	32	0.00
3	32	33	3.03
4	31	31	0.00
5	32	32	0.00
6	32	32	0.00
7	32	32	0.00
8	31	32	3.03
9	31	31	0.00
10	32	32	0.00
11	31	31	0.00
12	32	32	0.00
13	30	30	0.00
14	31	31	0.00
15	32	32	0.00
16	30	30	0.00
17	31	31	0.00
18	32	32	0.00
19	32	32	0.00
20	32	32	0.00
Rata-rata	31.45	31.55	0.78
Presisi	97.87%	-	-

No	Nilai Potassium ESP32	Nilai Potassium Konvensional	Error Rate (%)
1	117	117	0.00
2	118	118	0.00
3	117	117	0.00
4	117	118	0.85
5	117	117	0.00
6	117	117	0.00
7	118	118	0.00
8	118	117	0.85
9	117	117	0.00
10	119	119	0.00
11	118	118	0.00
12	119	119	0.00
13	117	117	0.00
14	117	117	0.00
15	119	119	0.00
16	119	119	0.00
17	119	119	0.00
18	118	118	0.00
19	118	118	0.00
20	119	120	0.83
Rata-rata	117.9	117.95	0.43
Presisi	99.30%	-	-

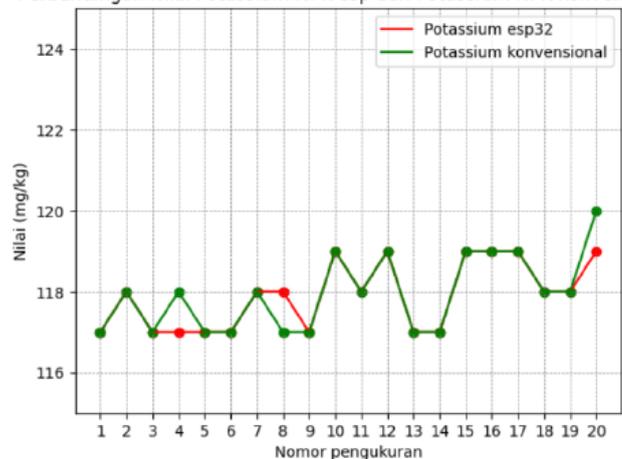
Perbandingan Nilai Phosphorous NPK esp dan Phosphorous NPK konvensional



GAMBAR 8.

Grafik Hasil Sensor NPK Phosphorus

Perbandingan Nilai Potassium NPK esp dan Potassium NPK konvensional



GAMBAR 9.

Grafik Hasil Sensor NPK Potassium

Berdasarkan Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5, pengukuran nilai N, P, K dilakukan sebanyak 20 kali dengan sensor NPK esp dan konvensional menggunakan sampel tanah kebun kopi di desa Sukarame. Pengukuran akurasi sensor NPK soil RS485 membandingkan nilainya dengan sensor NPK soil konvensional. Berdasarkan Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 sensor NPK masing - masing nilai N, P, dan K memiliki akurasi 99.56% untuk nitrogen, akurasi 99.22% untuk phosphorous, dan akurasi 99.57% untuk potassium. Presisi sensor NPK berdasarkan pengukuran semua jenis melebihi angka 97% yang dapat disimpulkan bahwa sensor NPK memiliki presisi yang akurat.

TABEL 5
Nilai Potassium

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem otomatisasi berbasis Internet of Things (IoT) untuk pemantauan dan pengelolaan penyiraman serta nutrisi tanah pada tanaman kopi di Desa Sukarame, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Sistem yang dirancang mengintegrasikan beberapa sensor utama untuk memantau berbagai parameter penting, yaitu kelembaban tanah, suhu dan kelembaban udara, pH tanah, serta kandungan nutrisi makro tanah. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan data yang dikumpulkan dan ditampilkan secara real-time melalui antarmuka web yang userfriendly.

Komponen utama sistem ini termasuk mikrokontroler ESP32, sensor kelembaban tanah, sensor suhu dan kelembaban udara seperti DHT11, sensor pH tanah, dan sensor NPK RS485. Sistem ini juga dilengkapi dengan pompa air dan sistem irigasi drip watering yang dioperasikan berdasarkan data real-time dari sensor kelembaban tanah, memastikan bahwa tanaman mendapatkan air dalam jumlah yang tepat. Sumber energi utama adalah panel surya, yang memungkinkan sistem ini untuk beroperasi secara mandiri dan ramah lingkungan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini bekerja dengan sangat baik dalam mengelola kondisi pertanian secara otomatis. Sensor NPK RS485 menunjukkan nilai akurasi dan presisi yang tinggi, dengan akurasi 99.91% untuk Nitrogen, 99.70% untuk Fosfor, dan 99.80% untuk Kalium. Sensor kelembaban tanah memiliki nilai presisi 99.01% dan DHT11 memiliki akurasi dan presisi 99.54% dan 96.60%. Sensor pH tanah memiliki nilai akurasi dan presisi 99.63% dan 97.8%.

Berdasarkan hasil pengujian pada poin sebelumnya, efektifitas pengimplementasi IoT pada lahan kopi milik petani di Desa Sukarame terbukti dapat meningkatkan perkembangan kopi serta membantu petani dalam memantau perkembangan dan penyiraman tanaman kopi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan sistem IoT untuk memonitor kondisi lingkungan secara real-time, sehingga memastikan lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan kopi.

REFERENSI

- [1] P. Marbun and V. Changgara, "Mapping Land Characteristics of Arabica Coffee in Pangaribuan and Simangumban Subdistricts," *JURNAL ONLINE AGROEKOTEKNOLOGI*, vol. 10, no. 3, pp. 45–51, Jan. 2024, doi: 10.32734/joa.v10i3.15358.
- [2] T. Hakim and S. Lardi, "BUDIDAYA TANAMAN KOPI

ARABIKA," 2023. [Online]. Available:

<https://www.researchgate.net/publication/368607480>.

- [3] I. Fibriani and J. Elektro, "SISTEM MONITORING DAN KONTROL TANAMAN KOPI UNTUK SMART GREENHOUSE MENGGUNAKAN WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS INTERNET OF THINGS," 2020.
- [4] S. A. M. Toza and D. Yendri, "RANCANG BANGUN SISTEM PENGERING MAGGOT BSF SEBAGAI ALTERNATIF PAKAN TERNAK BERBASIS IOT
- [5] T. Suryana, "Menampilkan Informasi Cuaca Suhu, Kelembaban Udara, Dan Kelembaban Tanah Menggunakan Sensor Dht11 Dan Soil Moisture", 2021.
- [6] P. Pujiyanto, "Response of Arabica Coffee Cultivated on Andisols on Organic Matter Applications", *Pelita Perkebunan*, vol. 29, no. 3, 2013..
- [7] R. Selvanarayanan, S. Rajendran, S. Algburi, O. Ibrahim Khalaf, and H. Hamam, "Empowering coffee farming using counterfactual recommendation based RNN driven IoT integrated soil quality command system," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024- 56954-x.
- [8] U. A. Pringsewu, S. N. Reynara, U. Latifa, and L. Nurpulaela, "Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering PERANCANGAN SISTEM INSTRUMENTASI BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA MODERN AGRICULTURE," *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering PERANCANGAN SISTEM INSTRUMENTASI BERBASIS INTERNET OF THINGS 102 PADA MODERN AGRICULTURE*, 2023, [Online]. Available: <http://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE>
- [9] A. Priyono and dan Pandji Triadyaksa, "SISTEM PENYIRAM TANAMAN CABAI OTOMATIS UNTUK MENJAGA KELEMBABAN TANAH BERBASIS ESP8266," 2020