

SISTEM IOT DETEKSI STRES PADA BIBIT TANAMAN PEPAYA DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR MIKROKLIMAT

Dean Palika, Asep Syaputra, Febriansyah

Teknik Informatika, Institut Teknologi Pagar Alam

Jln. Masik Siagam No. 75 Simpang Mbacang Kec. Dempo Tengah Kota Pagar Alam, Indonesia

palikadean@gmail.com

ABSTRAK

Budidaya pepaya merupakan salah satu komoditas unggulan di Kota Pagar Alam. Namun, petani sering menghadapi kendala pada fase pembibitan, terutama terkait stres biotik (penyakit) dan abiotik (lingkungan) yang disebabkan oleh kondisi mikroklimat yang tidak ideal. Deteksi stres yang selama ini dilakukan secara manual seringkali terlambat, sehingga mengakibatkan penurunan produktivitas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem IoT yang mampu mendeteksi stres pada bibit tanaman pepaya secara dini dengan memanfaatkan data sensor mikroklimat. Sistem yang diusulkan terdiri dari lapisan akuisisi data (sensor DHT22, soil moisture, dan BH1750 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32), lapisan pengolahan data (analisis dan klasifikasi stres berbasis data sensor), serta lapisan presentasi dan notifikasi (dashboard dan peringatan via Telegram/email). Metode pengembangan sistem menggunakan pendekatan Waterfall, dengan tahapan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah sistem IoT yang dapat mendeteksi dan mengklasifikasikan stres pada bibit pepaya dengan akurasi yang baik, serta memberikan notifikasi *real-time* kepada petani. Dengan demikian, sistem ini dapat meningkatkan efektivitas pemantauan, mengurangi kerugian akibat stres tanaman, dan mendukung pertanian presisi di Kota Pagar Alam.

Kata kunci : IoT, Deteksi Stres, Bibit Pepaya, Sensor Mikroklimat, ESP32, Pertanian Presisi.

1. PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) mentransformasi sektor pertanian menjadi "pertanian cerdas" dengan memberikan kemampuan pemantauan *real-time* dan otomasi. Dari segi kemampuan, jaringan sensor yang terpasang di lahan mengumpulkan data presisi tentang kondisi tanah, cuaca, dan tanaman, memungkinkan petani mengambil keputusan berbasis data dan mengotomasi proses seperti irigasi. Konsep pertanian presisi (*precision agriculture*) muncul sebagai pendekatan inovatif yang memanfaatkan data untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, serta menjaga keberlanjutan lingkungan. Dalam konteks ini, digitalisasi proses pemantauan kondisi tanah menjadi krusial karena kesuburan tanah merupakan faktor fundamental yang menentukan produktivitas tanaman dan efektivitas penggunaan pupuk. [1]

Dalam praktiknya para petani di lima kecamatan tersebut sering menghadapi kendala dalam fase pembibitan. Bibit pepaya rentan mengalami stres biotik (seperti serangan penyakit jamur dan bakteri) dan stres abiotik (seperti fluktuasi kelembaban tanah, suhu, dan intensitas cahaya) yang disebabkan oleh kondisi mikroklimat yang tidak ideal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian [2] N. Nurhayati, S. E. Cahyaningrum, S. A. Suryaningsih, U. N. 2026. "Integrasi Teknologi Iot Untuk Pengendalian Hama Dan Optimasi Vpd Pada Pertanian Padi Berbasis Plts." Teknologi ini merupakan pengembangan sistem pertanian cerdas yang dapat mengendalikan hama serta

melakukan pemantauan mikroklimat untuk meningkatkan produksi maupun kualitas hasil panen pada kelompok tani Jombang. Sistem ini terintegrasi dengan *Internet of Think* (IoT) serta berbagai jenis sensor seperti sensor suhu, kelembaban, lidar, rain drop, intensitas cahaya, curah hujan, tekanan udara, moisture, pH, kecepatan angin yang berfungsi untuk mengumpulkan data secara *real-time* sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pengendalian hama serta optimasi kondisi tanaman.

Internet of Things (IoT) menjadi revolusioner dalam dunia teknologi yang menghubungkan perangkat dan objek fisik dengan internet, memungkinkan untuk saling berinteraksi dan bertukar data. Defisi umum dari IoT adalah jaringan perangkat yang terhubung secara nirkabel, yang memungkinkan data untuk dikumpulkan, diproses dan dianalisis untuk memberikan informasi yang berharga kepada pengguna. [3].

2.1. Tanaman Pepaya

Budidaya pepaya berkontribusi terhadap perekonomian lokal melalui penyerapan tenaga kerja dan peningkatan pendapatan petani. Namun, petani sering menghadapi kendala dalam fase pembibitan, terutama terkait stres biotik (penyakit jamur, bakteri) dan abiotik (fluktuasi kelembaban, suhu, cahaya) akibat kondisi mikroklimat yang tidak ideal. Prospek usaha pembibitan tanaman pepaya juga terbilang besar. Hal ini terbukti pada penulis yang saat ini juga fokus memproduksi benih dan bibit pepaya california.[4]

2.2. Mikrokontroler ESP32



Gambar 1. ESP32

- a. Prosesor
 - CPU: Dual-core Xtensa LX6
 - Kecepatan clock: hingga 240 MHz
 - Memiliki coprocessor ultra-low power untuk menghemat energi saat mode sleep.
- b. Memori
 - SRAM: sekitar 520 KB
 - Flash Memory: biasanya 4 MB (tergantung modul yang digunakan).
- c. Konektivitas
 - Wi-Fi: 802.11 b/g/n (2.4 GHz)
 - Bluetooth: Bluetooth v4.2 dan Bluetooth Low Energy (BLE)
 - Mendukung komunikasi internet langsung tanpa modul tambahan.
- d. GPIO (General Purpose Input Output)
 - Sekitar 30–34 pin GPIO (tergantung tipe board).
 - Pin dapat digunakan untuk:
 - Digital input/output
 - PWM
 - Interrupt.
- e. Analog dan Sensor
 - ADC (Analog to Digital Converter): hingga 18 channel dengan resolusi 12-bit.
 - DAC (Digital to Analog Converter): 2 channel.
 - Mendukung berbagai sensor analog seperti suhu, cahaya, dan kelembaban.
- f. Interface Komunikasi
 - ESP32 memiliki banyak protokol komunikasi:
 - UART (3 channel)
 - SPI
 - I2C
 - I2S
 - CAN
 - PWM
- g. Tegangan Operasi
 - Tegangan kerja: sekitar 3.0 – 3.6 V
 - Banyak board ESP32 dapat diberi daya melalui USB 5V karena sudah ada regulator.
- h. Fitur Tambahan
 - Hall sensor (sensor medan magnet internal)
 - Touch sensor (kapasitif) hingga 10 pin
 - Deep sleep mode untuk penghematan daya
 - Mendukung OTA (Over The Air update).
- i. Sistem Pengembangan
 - ESP32 dapat diprogram menggunakan:

- Arduino IDE
- ESP-IDF
- MicroPython.

2.3. Sensor DH22



Gambar 2. Sensor DHT22

Sensor DHT22 berfungsi untuk mengukur dua parameter lingkungan secara digital, yaitu suhu dan kelembaban relatif udara, dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 2\text{--}5\%$ untuk kelembaban), bekerja pada rentang pengukuran suhu -40 hingga 80°C serta kelembaban 0-100% RH, sehingga cocok digunakan dalam berbagai aplikasi pemantauan iklim seperti sistem pertanian, rumah kaca, atau pengendali HVAC.

2.4. Sensor Soil Moisture



Gambar 3. Sensor Soil Moisture

Sensor soil moisture umumnya memiliki spesifikasi teknis yang mencakup rentang pengukuran kelembaban tanah (biasanya 0% hingga 100% VWC atau 0-1023 dalam satuan analog), akurasi pengukuran (sekitar $\pm 2\text{--}3\%$ untuk sensor berkualitas), tegangan operasi (umumnya 3.3V atau 5V DC), tipe output (analog, digital, atau serial seperti I2C/RS485), dan tipe probe (berbasis resistansi kapasitansi atau resistansi konduktif), di mana sensor kapasitif lebih tahan terhadap korosi karena tidak menghantarkan arus listrik langsung ke tanah, serta dilengkapi dengan proteksi terhadap variasi suhu lingkungan dan salinitas tanah untuk memastikan stabilitas pembacaan data.

2.5. Sensor BH1750



Gambar 4. Sensor BH1750

Sensor cahaya digital yang mengukur intensitas cahaya dengan menggunakan fotodioda yang peka terhadap spektrum cahaya tampak (mirip dengan respons mata manusia), menghasilkan output dalam satuan lux (lx) dengan akurasi tinggi $\pm 20\%$ dan tanpa perlu kompensasi tambahan untuk sumber cahaya seperti incandescent atau fluorescent. Sensor ini beroperasi pada rentang pengukuran luas dari 1 lx hingga 65535 lx, menggunakan antarmuka I2C yang memudahkan integrasi dengan mikrokontroler, serta memiliki resolusi yang dapat diatur (mode Low, High, dan High2) untuk menyeimbangkan antara akurasi dan konsumsi daya.

2.6. LCD 1602



Gambar 5. LCD1602

Fungsi utama LCD 1602 adalah menampilkan data hasil pembacaan sensor, status sistem, maupun pesan peringatan, misalnya nilai suhu, kelembaban, kondisi tanah, atau keterangan seperti “sehat” dan “stres”, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung tanpa memerlukan perangkat tambahan seperti komputer atau smartphone.

2.7. Papan PCB



Gambar 6. Papan PCB

Fungsi dari PCB (*Printed Circuit Board*) ini sendiri yaitu Sebagai tempat menyusun berbagai komponen elektronik dapat dipasang dengan terorganisir, Menghubungkan kaki komponen satu sama lain, antara kaki komponen aktif maupun pasif, Sebagai pengganti kabel yang menyambungkan komponen, lebih efisien dan hemat tempat jika dibandingkan kabel.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem ini adalah metode Waterfall, yang terdiri dari beberapa tahapan yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian sistem.

Sistem yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

3.1. Perancangan Sistem

- Sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara.
- Sensor Soil Moisture untuk mengukur tingkat kelembaban tanah.
- Sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya.
- Mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data sensor.
- Platform notifikasi Telegram sebagai media pemberitahuan kepada pengguna.

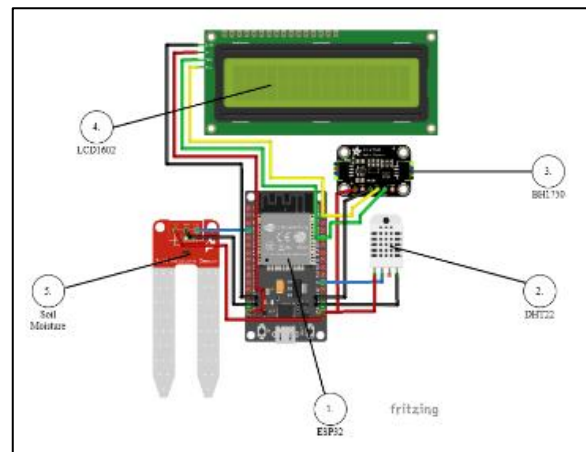
Sensor akan membaca kondisi lingkungan di sekitar bibit tanaman pepaya, kemudian data dikirim ke mikrokontroler untuk diproses.

3.2. Algoritma Crisp

Data yang diperoleh dari sensor dianalisis menggunakan algoritma crisp untuk menentukan kondisi tanaman berdasarkan nilai ambang batas tertentu. Parameter yang digunakan meliputi suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya. Berdasarkan nilai tersebut, sistem akan mengklasifikasikan kondisi tanaman menjadi normal atau mengalami stres.

3.3. Implementasi Sistem

Sistem diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan jaringan internet. Data dari sensor akan diproses secara real-time dan ditampilkan melalui serial monitor serta dikirim sebagai notifikasi ke aplikasi Telegram apabila kondisi lingkungan berada di luar batas normal.



Gambar 7. Rangkaian Alat

Alat ini bekerja dengan ESP32 sebagai unit pengendali utama yang membaca data dari empat sensor yaitu DHT22 untuk suhu dan kelembaban udara, BH1750 untuk intensitas cahaya, dan Soil Moisture Sensor untuk kelembaban tanah. Data yang terkumpul kemudian dikirim secara nirkabel melalui modul Wi-Fi internal ESP32 ke platform IoT bisa seperti Telegram, Email, Blynk, ThingSpeak, atau Firebase untuk pemantauan dan pencatatan data *real-time* dari jarak jauh. Selain itu, data juga tetap

ditampilkan secara lokal pada LCD1602 melalui antarmuka I2C, sehingga alat ini berfungsi sebagai sistem monitoring mikroklimat yang terintegrasi antara tampilan lokal dan *cloud* IoT.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem berhasil membaca data dari sensor DHT22, soil moisture, dan BH1750 secara real-time. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk menentukan kondisi lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan bibit pepaya.

4.1. Program Analisis Suhu

```
if (temperature > 30) {
  Serial.println("- Suhu Terlalu Panas 🔥");
  stres = true;
}
else if (temperature < 20) {
  Serial.println("- Suhu Terlalu Dingin ❄️");
  stres = true;
}
else {
  Serial.println("- Suhu Normal");
  stres = false;
}
```

Gambar 8. Coding analisis suhu

- Membaca nilai suhu (temperature)
- Membandingkan dengan batas:
 - 30°C → Panas (stres)
 - < 20°C → Dingin (stres)
 - 20–30°C → Normal (tidak stres)
- Mengatur variabel stres sebagai indikator kondisi

4.2. Program Analisis Kelembaban Udara

```
if (humidity < 40) {
  Serial.println("- Udara Terlalu Kering 💧");
  stres = true;
}
else if (humidity > 70) {
  Serial.println("- Udara Terlalu Lembap 💧");
  stres = true;
}
```

Gambar 9. Coding analisis kelembaban udara

- Jika kelembapan < 40%
Artinya udara terlalu kering
Program menampilkan: "Udara Terlalu Kering"
Variabel stres diset menjadi true
- Jika kelembapan > 70%
Artinya udara terlalu lembap
Program menampilkan: "Udara Terlalu Lembap"
Variabel stres tetap diset true.

4.3. Program Analisis Kelembaban Tanah

```
if (soilPercent <= 20) {
  Serial.println("Tanah Basah / AMAN ✅");
}
else if (soilPercent <= 40) {
  Serial.println("MULAI KERING ⚠️");
}
else {
  Serial.println("STRES KEKERINGAN 🔥");
}
```

Gambar 10. Coding analisis kelembaban tanah

- Jika soilPercent ≤ 20
Artinya tanah masih basah
Sistem menampilkan: "Tanah Basah / AMAN ✅"
Kondisi aman, tidak stres kekeringan
- Jika soilPercent antara 21–40
Tanah mulai mengering
Sistem memberi peringatan awal
Belum kritis, tapi perlu diperhatikan
- Jika soilPercent > 40
Tanah sudah kering
Tanaman bisa mengalami stres kekeringan
Status kritis

4.4. Program Analisis Intensitas Cahaya

```
if (lux < 1000) {
  Serial.println("CAHAYA KURANG 🌑");
} else if (lux < 10000) {
  Serial.println("CAHAYA CUKUP 🌤️");
} else {
  Serial.println("CAHAYA TINGGI 🌞");
}
```

Gambar 11. Coding analisis intensitas cahaya

- Jika lux < 1000
Intensitas cahaya rendah
Kondisi: Cahaya Kurang
- Tanaman bisa kekurangan sinar untuk fotosintesis
Jika lux antara 1000 – 9999
Intensitas cahaya sedang
Kondisi: Cahaya Cukup
- Ideal untuk pertumbuhan normal
Jika lux ≥ 10000
Kondisi: Cahaya sangat terang
Bisa berpotensi menyebabkan stres panas jika berlebihan.

4.5. Penentu Status Stres Tanaman

```
Serial.print("Status Tanaman: ");
if (stres) {
    Serial.println("TANAMAN STRES 🚨");
} else {
    Serial.println("TANAMAN AMAN ✅");
}
```

Gambar 12. Coding penentu stres tanaman

- Jika stres = true
Artinya salah satu parameter tidak normal
Output: TANAMAN STRES
- Jika stres = false
Semua parameter dalam batas aman
Output: TANAMAN AMAN

4.6. Implementasi alat pada tanaman pepaya



Gambar 13. Implementasi alat pada tanaman pepaya

bekerja melalui serangkaian proses terintegrasi yang dimulai dari tahap akuisisi data, dimana tiga sensor utama yaitu sensor DHT22 yang terhubung ke pin GPIO 4 ESP32 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, sensor Soil Moisture yang terhubung ke pin GPIO 34 untuk mengukur kelembaban tanah dengan prinsip konduktivitas listrik, dan sensor BH1750 yang terhubung melalui protokol I2C pada pin SDA GPIO 21 dan SCL GPIO 22 untuk mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux.

```
- Suhu Normal
- Udara Terlalu Lembap
Status Tanaman: TANAMAN STRES 🚨

=====
Nilai Soil: 4095 | Kelembapan Tanah: 0 % | Status: Tanah Basah / AMAN ✅
[BH1750] Device is not configured!
Intensitas Cahaya: -2.00 lux
CAHAYA KURANG 🌑

=====
Suhu: 26.90 °C | Kelembapan Udara: 98.90 %
Analisa Kondisi Tanaman:
- Suhu Normal
- Udara Terlalu Lembap
Status Tanaman: TANAMAN STRES 🚨

=====
Nilai Soil: 4095 | Kelembapan Tanah: 0 % | Status: Tanah Basah / AMAN ✅
[BH1750] Device is not configured!
Intensitas Cahaya: -2.00 lux
CAHAYA KURANG 🌑
=====
```

Gambar 14. Output dari sistem



Gambar 15. Output pada aplikasi Telegram

Output pada Telegram dari bot monitor_tanaman_bot tersebut menunjukkan hasil pemantauan kondisi mikroklimat pada bibit tanaman pepaya yang dibaca oleh sistem IoT menggunakan sensor lingkungan. Sistem menampilkan beberapa parameter utama yaitu suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah (soil), dan intensitas cahaya yang kemudian dianalisis oleh program untuk menentukan kondisi tanaman apakah normal atau mengalami stres.

Pada tampilan tersebut terlihat nilai suhu 24.90°C, kelembaban udara 98.60%, kelembaban tanah 44%, dan intensitas cahaya 2.00 lux. Berdasarkan data tersebut sistem memberikan interpretasi kondisi lingkungan, yaitu suhu normal, udara terlalu lembap, tanah basah, dan cahaya kurang. Setelah melakukan analisis terhadap parameter mikroklimat tersebut, sistem menyimpulkan bahwa status tanaman adalah “Tanaman Stres”. Penyebab stres yang ditampilkan oleh bot adalah kelembaban udara yang terlalu tinggi dan intensitas cahaya yang rendah, yang dapat mengganggu pertumbuhan bibit pepaya.

Dengan adanya notifikasi ini, pengguna dapat mengetahui secara real-time melalui Telegram kondisi lingkungan tanaman dan faktor penyebab stres sehingga dapat segera melakukan tindakan, misalnya mengurangi kelembaban lingkungan atau menambah pencahayaan agar kondisi mikroklimat kembali optimal untuk pertumbuhan bibit pepaya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem IoT deteksi stres pada bibit tanaman pepaya berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan sensor mikroklimat dan mikrokontroler ESP32. Sistem mampu memantau kondisi lingkungan seperti suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya secara real-time.

Penerapan algoritma crisp memungkinkan sistem untuk mengklasifikasikan kondisi tanaman berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Selain itu, sistem juga mampu memberikan notifikasi peringatan melalui aplikasi Telegram ketika kondisi lingkungan berpotensi menyebabkan stres pada tanaman.

Dengan demikian, sistem ini dapat membantu petani dalam memantau kondisi bibit pepaya secara lebih efektif serta mendukung penerapan teknologi IoT dalam bidang pertanian presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Al Ashar *et al.*, “INTEGRASI SENSOR KESUBURAN TANAH BERBASIS MODBUS RS485 PADA SISTEM MONITORING PERTANIAN PRESISI BERBASIS DATA,” vol. 4, no. 4, hal. 425–433, 2025.
- [2] N. Nurhayati, S. E. Cahyaningrum, S. A. Suryaningsih, U. N. Surabaya, dan U. T. Bandung, “INTEGRASI TEKNOLOGI IoT UNTUK PENGENDALIAN HAMA DAN OPTIMASI VPD PADA PERTANIAN PADI BERBASIS PLTS,” vol. 7, no. 1, hal. 114–123, 2026.
- [3] E. Erwin *et al.*, *PENGANTAR \& PENERAPAN INTERNET OF THINGS: Konsep dasar \& Penerapan IoT di berbagai Sektor*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023. [Daring]. Tersedia pada: https://books.google.co.id/books?id=93_QEAA AQBAJ
- [4] W. Gunawan, *Menghasilkan Pepaya California Berkualitas*. Agromedia, 2018. [Daring]. Tersedia pada: <https://books.google.co.id/books?id=GZydEAA AQBAJ>