
PENGEMBANGAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI IOT PADA SISTEM *PRECISION FARMING* UNTUK BUDIDAYA JAGUNG DI KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW UTARA, SULAWESI UTARA

Edwin Tenda¹⁾, Adeleyda M.W Lumingkewas²⁾, Siska Ayu Widiana³⁾, Eliasta Ketaren⁴⁾
^{1,3,4}, Prodi Sistem Informasi, Universitas Sam Ratulangi
² Prodi Agroteknologi, Universitas Sam Ratulangi
e-mail: tenda.edwin@unsrat.ac.id¹⁾, adeleyda.lumingkewas@unsrat.ac.id²⁾, siskaginting@unsrat.ac.id³⁾,
eliasketaren@unsrat.ac.id⁴⁾

Abstrak

Kabupaten Bolaang Mongondow Utara merupakan wilayah agraris di Provinsi Sulawesi Utara dengan Jagung sebagai salah satu komoditas utama. Namun, budidaya Jagung masih menghadapi berbagai kendala, seperti perubahan kondisi lingkungan, keterbatasan monitoring lahan secara *real-time*, dan rendahnya pemanfaatan teknologi digital. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menerapkan sistem *precision farming* berbasis Internet of Things (IoT) untuk mendukung monitoring lingkungan budidaya jagung secara real-time di Kecamatan Bintauna. Sistem dikembangkan menggunakan Raspberry Pi 4 dengan integrasi sensor DHT11, BH1750, sensor curah hujan, sensor anemometer, dan Mi Flora Plant Sensor. Data sensor dikirim melalui internet dan disimpan pada Google Sheets sebagai media monitoring berbasis cloud. Metode penelitian meliputi studi pustaka, survei lapangan, pengumpulan data petani, analisis kebutuhan sistem, pengembangan sistem, serta pengujian blackbox dan usability testing. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu melakukan monitoring lingkungan pertanian secara real-time setiap 10 menit. Hasil usability testing menunjukkan tingkat penerimaan sistem sebesar 92,4%, sedangkan hasil kuesioner petani menunjukkan tingkat penerimaan teknologi IoT sebesar 83,6%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *precision farming* berbasis IoT berpotensi mendukung transformasi digital pertanian Jagung di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara.

Kata kunci : *Internet of Things; Jagung; precision farming; realtime monitoring; sensor lingkungan*

1. Pendahuluan

Kabupaten Bolaang Mongondow Utara merupakan salah satu daerah agraris di Provinsi Sulawesi Utara dengan komoditas utama di antaranya tanaman jagung. Wilayah ini memiliki kondisi geografis berupa dataran rendah, perbukitan, dan lahan terbuka dengan intensitas cahaya matahari yang cukup tinggi. Curah hujan yang relatif tinggi mendukung aktivitas pertanian, namun juga menghadirkan tantangan terkait pengelolaan kelembaban lahan dan perubahan cuaca.

Kabupaten Bolaang Mongondow Utara memiliki iklim tropis dan suhu rata-rata 24°C–32°C. Kondisi tersebut mendukung pertumbuhan tanaman jagung [1][2]. Lahan pertanian jagung sebagian besar berupa lahan terbuka dengan tingkat paparan sinar matahari yang tinggi. Kondisi kelembaban tanah sangat dipengaruhi oleh musim dan curah hujan. Kondisi ini sangat cocok dengan kondisi parameter pertumbuhan tanaman Jagung [12] sebagaimana yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pertumbuhan Tanaman Jagung

Parameter	Kondisi Optimal
Suhu udara	23°C – 27°C
Kelembaban tanah	Sedang
Intensitas cahaya	Tinggi
Curah hujan	100 – 200 mm/bulan
Kecepatan angin	Rendah – sedang

Produksi dan luas panen Jagung di Indonesia terus mengalami perkembangan seiring dengan meningkatnya kebutuhan sektor pangan dan peternakan nasional [3]. Namun, proses budidaya jagung tersebut masih menghadapi berbagai tantangan seperti perubahan cuaca yang tidak menentu, keterbatasan dalam pemantauan kondisi lahan secara *real-time*, serta rendahnya pemanfaatan teknologi digital dalam aktivitas pertanian. Sebagian besar petani masih menggunakan metode konvensional dalam monitoring lahan dan pengambilan keputusan pertanian sehingga pengelolaan budidaya belum dilakukan secara optimal [11][18]. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk mendukung penerapan *precision farming* pada sektor pertanian [4][5]. Melalui integrasi sensor lingkungan dan perangkat komputasi seperti Raspberry Pi, kondisi pertanian dapat dimonitor secara real-time sehingga membantu petani memperoleh informasi suhu, kelembaban, intensitas cahaya, curah hujan, dan kondisi tanah secara lebih cepat dan akurat [7][8][9]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menerapkan teknologi IoT pada sistem *precision farming* untuk

budidaya jagung di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara guna mendukung transformasi pertanian konvensional menuju smart farming yang lebih efektif dan efisien.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan sistem *precision farming* berbasis Internet of Things (IoT) secara langsung pada lahan budidaya jagung di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, Sulawesi Utara. Melalui integrasi berbagai sensor lingkungan untuk monitoring multi-parameter secara real-time menggunakan Raspberry Pi 4 serta sistem monitoring berbasis cloud menggunakan Google Sheets sebagai media penyimpanan dan visualisasi data pertanian yang sederhana, ringan, dan mudah diakses oleh petani, sistem ini berpotensi menjadi solusi *precision farming* berbiaya rendah untuk mendukung transformasi digital sektor pertanian.

2. Landasan Teori

Precision farming

Precision farming atau pertanian presisi merupakan pendekatan modern dalam sektor pertanian yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan produktivitas budidaya pertanian [4][19]. Konsep ini memungkinkan pengelolaan lahan dilakukan berdasarkan data aktual yang diperoleh secara real-time melalui sensor dan sistem monitoring digital.

Dalam *precision farming*, setiap keputusan budidaya dilakukan berdasarkan kondisi lingkungan aktual sehingga penggunaan air, pupuk, energi, dan sumber daya lainnya dapat dilakukan secara lebih optimal. Pendekatan ini juga memungkinkan petani melakukan tindakan yang lebih cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Aspek utama *precision farming* (Tabel 2) meliputi monitoring lingkungan, akuisisi data, pengolahan data, pengambilan keputusan berbasis data, otomasi sistem pertanian, dan efisiensi penggunaan sumber daya [4][8][9]. Implementasi *precision farming* pada budidaya jagung menjadi penting karena tanaman jagung sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu, kelembaban tanah, intensitas cahaya, dan curah hujan.

Penerapan *precision farming* berbasis IoT pada penelitian ini diarahkan untuk membantu petani dalam memahami kondisi lingkungan budidaya secara lebih objektif dan terukur sehingga mendukung peningkatan produktivitas pertanian jagung.

Tabel 2. Aspek *Precision farming*

Aspek	Fungsi
Monitoring lingkungan	Pemantauan kondisi lahan secara real-time
Akuisisi data	Pengumpulan data dari sensor
Pengolahan data	Analisis kondisi pertanian
Pengambilan keputusan	Mendukung tindakan budidaya
Otomasi sistem	Mengurangi intervensi manual
Efisiensi sumber daya	Mengoptimalkan penggunaan air dan energi

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pertukaran data secara otomatis [5][10]. Dalam bidang pertanian, IoT digunakan untuk melakukan monitoring kondisi lingkungan secara real-time menggunakan sensor dan perangkat komputasi [7][8][9][20]. Teknologi IoT memungkinkan proses pengumpulan data dilakukan secara otomatis dan berkelanjutan sehingga informasi kondisi pertanian dapat diperoleh dengan lebih cepat, akurat, dan efisien. Penerapan IoT pada sektor pertanian juga mendukung konsep smart farming melalui integrasi sensor, komunikasi data, cloud computing, dan sistem monitoring digital yang mampu membantu petani dalam pengambilan keputusan berbasis data. Dengan kemampuan tersebut, teknologi IoT menjadi salah satu solusi penting dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi pengelolaan pertanian modern [19][21].

Raspberry Pi dan Sensor Lingkungan

Raspberry Pi merupakan mini komputer yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem embedded dan IoT karena memiliki ukuran kecil, konsumsi daya rendah, serta mendukung integrasi berbagai sensor [6]. Sensor lingkungan digunakan untuk memperoleh data kondisi pertanian secara real-time [9][13]. Sensor yang digunakan meliputi sensor DHT11, BH1750, sensor curah hujan, sensor anemometer, dan Mi Flora Plant Sensor. Tabel 3 menyajikan daftar sensor yang digunakan.

Tabel 3. Sensor pada Sistem IoT

Sensor	Fungsi
DHT11	Suhu dan kelembaban udara
BH1750	Intensitas cahaya
Sensor hujan	Curah hujan
Anemometer	Kecepatan angin
Mi Flora	Kelembaban tanah/Intensitas Cahaya

3. Metodologi Penelitian

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan di lahan budidaya jagung di Kecamatan Bintauna, Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, Sulawesi Utara. Tahapan Penelitian meliputi :

a. Studi Pustaka

Tahap studi pustaka dilakukan dengan mempelajari berbagai referensi ilmiah terkait *precision farming*, Internet of Things (IoT), smart farming, Raspberry Pi, sensor lingkungan, dan penelitian terdahulu yang relevan. Tahap ini bertujuan memperoleh dasar teori dan konsep yang mendukung pengembangan sistem penelitian.

b. Survei Lapangan

Tahap survei lapangan dilakukan untuk mengamati secara langsung kondisi lingkungan pertanian jagung di Kecamatan Bintauna. Kegiatan ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik lahan, kondisi budidaya jagung, kondisi lingkungan pertanian, serta permasalahan yang dihadapi petani dalam proses monitoring dan pengelolaan lahan pertanian.

c. Pengumpulan Data Karakteristik Petani

Tahap pengumpulan data dilakukan melalui penyebaran kuesioner kepada petani jagung di Kecamatan Bintauna. Kuesioner digunakan untuk mengetahui tingkat pemahaman teknologi, penggunaan perangkat digital, kebutuhan monitoring pertanian, serta tingkat penerimaan petani terhadap penerapan teknologi Internet of Things (IoT) pada budidaya jagung. Pengumpulan data dilakukan menggunakan skala Likert 1–5 dan hasilnya dianalisis untuk mendukung evaluasi kesiapan penerapan *precision farming* berbasis IoT.

d. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan pada sistem *precision farming*. Analisis meliputi kebutuhan sensor lingkungan, perangkat pemrosesan data, koneksi internet, media penyimpanan data berbasis cloud, serta kebutuhan monitoring pertanian secara real-time.

e. Perancangan Sistem IoT

Tahap perancangan sistem dilakukan dengan menyusun arsitektur sistem IoT, konfigurasi Raspberry Pi dan sensor lingkungan, perancangan alur pembacaan data sensor, serta mekanisme pengiriman data menuju layanan cloud menggunakan bahasa pemrograman Python.

f. Pengembangan Sistem

Tahap pengembangan sistem dilakukan dengan mengintegrasikan Raspberry Pi 4 dengan sensor DHT11, BH1750, sensor curah hujan, sensor anemometer, dan Mi Flora Plant Sensor pada lahan budidaya jagung. Sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python untuk membaca data sensor, memproses data, serta mengirimkan hasil monitoring ke Google Sheets melalui jaringan internet secara real-time.

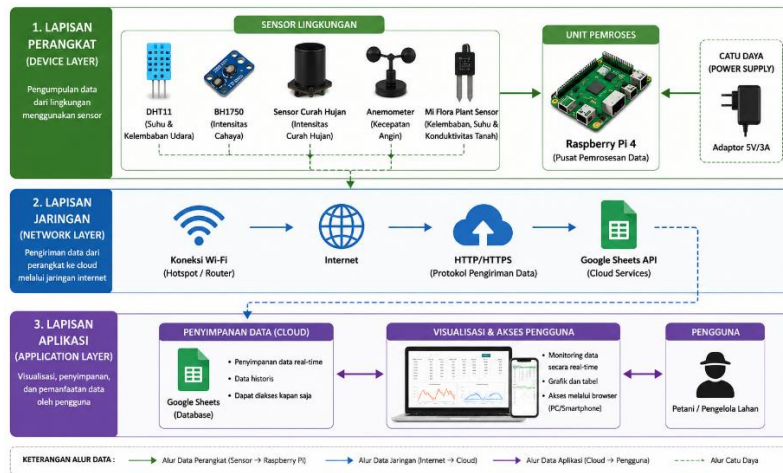
g. Pengujian dan evaluasi Usabilitas

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan sistem *precision farming* berbasis Internet of Things (IoT) dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan penelitian dan mampu melakukan monitoring lingkungan pertanian secara real-time. Pengujian menggunakan metode blackbox testing untuk menguji fungsi utama sistem seperti pembacaan sensor, pengiriman data, dan penyimpanan data pada Google Sheets. Selain itu, dilakukan usability testing menggunakan kuesioner skala Likert 1–5 untuk mengetahui tingkat penerimaan dan kemudahan penggunaan sistem oleh petani jagung di Kecamatan Bintauna.

Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem *precision farming* berbasis IoT pada penelitian ini terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu lapisan perangkat, lapisan jaringan, dan lapisan aplikasi (Gambar 1). Lapisan perangkat terdiri dari Raspberry Pi 4 sebagai pusat pemrosesan data dan beberapa sensor lingkungan seperti DHT11, BH1750, sensor curah hujan, sensor anemometer, serta Mi Flora Plant Sensor yang digunakan untuk membaca kondisi lingkungan pertanian secara real-time. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim melalui jaringan internet menuju layanan cloud menggunakan koneksi modem 4G. Pada lapisan aplikasi, data disimpan dan dimonitor menggunakan Google Sheets sehingga informasi kondisi lahan pertanian dapat diakses secara lebih mudah untuk mendukung proses monitoring dan pengambilan keputusan dalam

budidaya jagung. Konsep pengiriman data sensor melalui jaringan internet pada penelitian ini sejalan dengan penerapan sistem monitoring lingkungan berbasis Internet of Things yang telah diterapkan pada berbagai bidang monitoring cerdas [15].



Gambar 1. Arsitektur Sistem

Konfigurasi Raspberry Pi dan Sensor

Tabel 4 Menunjukkan konfigurasi Raspberry Pi dan sensor antara pin GPIO pada Raspberry Pi 4 dengan masing-masing sensor yang digunakan dalam sistem *precision farming*. Konfigurasi ini meliputi penggunaan pin daya, ground, dan pin data untuk mendukung proses pembacaan parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban udara, intensitas cahaya, curah hujan, kecepatan angin, serta kelembaban tanah. Pengaturan pin dilakukan agar setiap sensor dapat terhubung dan berfungsi secara optimal tanpa konflik penggunaan GPIO pada Raspberry Pi.

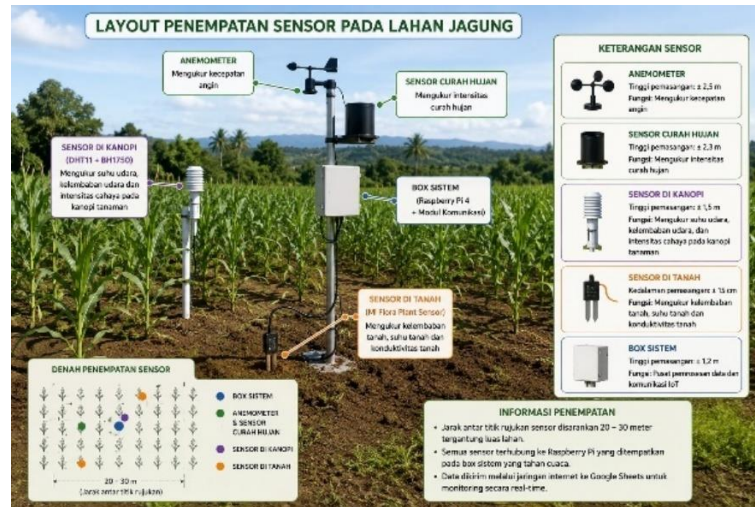
Tabel 4. Konfigurasi Raspberry Pi dengan Sensor

Sensor	Pin Sensor	Pin Raspberry Pi 4	Fungsi
DHT11	VCC	Pin 1 (3.3V)	Power
	GND	Pin 6 (GND)	Ground
	DATA	GPIO4 (Pin 7)	Data suhu & kelembaban
BH1750	VCC	Pin 17 (3.3V)	Power
	GND	Pin 9 (GND)	Ground
	SDA	GPIO2 / SDA (Pin 3)	I2C Data
	SCL	GPIO3 / SCL (Pin 5)	I2C Clock
Sensor Curah Hujan	VCC	Pin 2 (5V)	Power
	GND	Pin 14 (GND)	Ground
	DO	GPIO17 (Pin 11)	Digital Output
Anemometer	VCC	Pin 4 (5V)	Power
	GND	Pin 20 (GND)	Ground
	DATA	GPIO18 (Pin 12)	Pulse Input
Mi Flora Plant Sensor	Power Internal	Koneksi Bluetooth BLE	Komunikasi Data

Skenario Penempatan Sistem IoT

Gambar 2 menunjukkan ilustrasi layout penempatan sensor pada lahan budidaya jagung dalam sistem *precision farming* berbasis Internet of Things (IoT). Penempatan sensor dilakukan berdasarkan fungsi dan karakteristik parameter lingkungan yang diukur. Sensor DHT11 dan BH1750 ditempatkan pada area kanopi tanaman untuk memantau suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya di sekitar pertumbuhan tanaman jagung. Sensor curah hujan dan anemometer dipasang pada posisi yang lebih tinggi agar mampu mendeteksi kondisi cuaca dan kecepatan angin secara

optimal. Sementara itu, Mi Flora Plant Sensor ditempatkan di dalam tanah untuk mengukur kelembaban dan kondisi tanah secara langsung. Seluruh sensor terhubung dengan Raspberry Pi 4 yang ditempatkan pada box sistem sebagai pusat pemrosesan dan pengiriman data monitoring ke layanan cloud melalui jaringan internet. Tata letak ini dirancang untuk mendukung proses monitoring lingkungan pertanian secara real-time dan memperoleh data kondisi lahan yang lebih akurat pada implementasi *precision farming*.



Gambar 2. Skenario Penempatan Sistem IoT

4. Hasil Penelitian

Karakteristik Pemahaman Teknologi Petani

Sebagian besar petani di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara masih menggunakan metode pertanian konvensional dalam monitoring lahan dan pengelolaan budidaya. Aktivitas pertanian umumnya dilakukan berdasarkan pengalaman lapangan dan pengamatan manual tanpa dukungan sistem monitoring digital. Kondisi tersebut menyebabkan proses pengambilan keputusan pertanian, seperti penyiraman dan pengelolaan lahan, belum sepenuhnya berbasis data.

Tabel 5. Daftar Pertanyaan Kuesioner Pemahaman Teknologi Petani

No	Pertanyaan
1	Apakah Bapak/Ibu menggunakan smartphone dalam aktivitas sehari-hari?
2	Apakah Bapak/Ibu pernah menggunakan aplikasi digital pertanian?
3	Apakah Bapak/Ibu mengetahui teknologi Internet of Things (IoT)?
4	Apakah monitoring kondisi lahan masih dilakukan secara manual?
5	Apakah Bapak/Ibu mengalami kesulitan memantau kondisi lahan secara berkala?
6	Apakah Bapak/Ibu membutuhkan sistem monitoring pertanian otomatis?
7	Apakah informasi suhu dan kelembaban lahan penting dalam budidaya jagung?
8	Apakah teknologi monitoring digital dapat membantu meningkatkan produktivitas pertanian?
9	Apakah Bapak/Ibu tertarik menggunakan teknologi smart farming?
10	Apakah Bapak/Ibu bersedia menggunakan sistem IoT pada budidaya jagung?

Meskipun demikian, perkembangan penggunaan smartphone di kalangan petani mulai meningkat, terutama untuk kebutuhan komunikasi dan akses informasi pertanian. Hal ini menunjukkan adanya potensi penerimaan terhadap penerapan teknologi digital pada sektor pertanian, termasuk sistem *precision farming* berbasis Internet of Things (IoT).

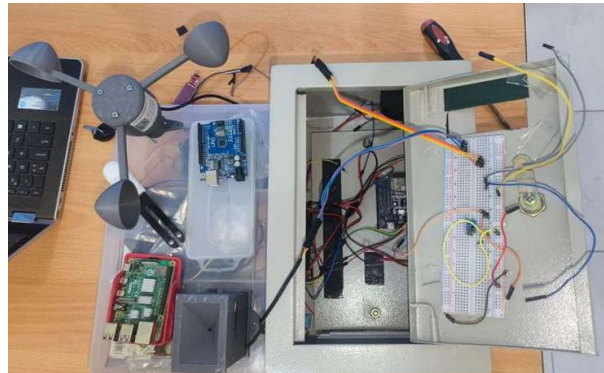
Untuk mengetahui tingkat pemahaman dan kesiapan petani terhadap teknologi pertanian digital, dilakukan penyebaran kuesioner kepada petani jagung di Kecamatan Bintauna (Tabel 5). Kuesioner difokuskan pada aspek penggunaan teknologi, pemahaman IoT, kebutuhan monitoring digital, dan ketertarikan terhadap smart farming. Kuesioner diberikan kepada 10 petani jagung di Kecamatan Bintauna dengan menggunakan skala Likert 1–5.

Hasil pengolahan kuesioner menggunakan skala Likert menunjukkan bahwa petani memiliki tingkat penerimaan yang baik terhadap penerapan teknologi digital pada sektor pertanian dengan persentase sebesar 83,6%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa petani mulai terbuka terhadap penggunaan sistem monitoring berbasis IoT untuk mendukung budidaya jagung meskipun pemahaman terkait teknologi IoT masih terbatas. Temuan ini menunjukkan bahwa *precision farming* berbasis IoT memiliki peluang yang baik untuk dikembangkan di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara. Hasil pengolahan kuisisioner juga dapat menunjukkan karakteristik pemahaman teknologi petani yang dirangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik Pemahaman Teknologi Petani

Aspek	Kondisi
Penggunaan smartphone	Mulai umum
Pemanfaatan IoT	Rendah
Monitoring digital	Belum tersedia
Ketertarikan teknologi	Cukup tinggi

Sistem IoT dikembangkan menggunakan Raspberry Pi sebagai pusat pengolahan data [6][9]. Sensor DHT11 digunakan untuk membaca suhu dan kelembaban udara [13]. Sensor BH1750 digunakan untuk mengukur intensitas cahaya di area pertanian [9]. Mi Flora Plant Sensor digunakan untuk memantau kelembaban tanah dan kondisi tanaman melalui koneksi Bluetooth [9]. Pengembangan rangkaian alat untuk IoT disajikan pada Gambar 3. Integrasi sensor lingkungan dan sistem monitoring berbasis IoT memungkinkan proses pengumpulan data dilakukan secara otomatis dan berkelanjutan [16].



Gambar 3. Rangkaian alat sistem IoT

Sistem IoT pada penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan Raspberry Pi 4 sebagai pusat pemrosesan data dengan beberapa sensor lingkungan, yaitu sensor DHT11, BH1750, sensor curah hujan, sensor anemometer, dan Mi Flora Plant Sensor. Seluruh sensor dipasang pada lahan budidaya jagung di Kecamatan Bintauna untuk melakukan monitoring kondisi lingkungan pertanian secara real-time. Sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python untuk membaca data sensor, memproses data, dan mengirimkan hasil monitoring ke layanan cloud melalui jaringan internet.

Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem *precision farming* berbasis IoT dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pengujian difokuskan pada aspek fungsionalitas sistem menggunakan metode blackbox testing serta pengujian usability untuk mengetahui tingkat penerimaan sistem oleh petani.

Blackbox Testing

Blackbox testing dilakukan untuk menguji fungsi utama sistem *precision farming* berbasis IoT tanpa melihat struktur internal program. Pengujian difokuskan pada kemampuan setiap sensor dan sistem dalam menjalankan fungsi sesuai dengan kebutuhan penelitian. Proses pengujian meliputi pembacaan data sensor DHT11, BH1750, sensor curah hujan, sensor anemometer, Mi Flora Plant Sensor, serta proses pengiriman dan penyimpanan data pada layanan cloud.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor berhasil terdeteksi dan mampu melakukan pembacaan parameter lingkungan dengan baik. Sistem juga berhasil mengirimkan data hasil monitoring ke Google Sheets secara otomatis melalui jaringan internet. Berdasarkan hasil blackbox testing, seluruh fungsi utama pada sistem *precision farming* berbasis IoT dapat berjalan sesuai dengan rancangan sehingga sistem dinyatakan berfungsi dengan baik dan siap digunakan pada implementasi monitoring budidaya jagung. Pengujian blackbox dapat dilihat pada Tabel 7. Gambar 4 menunjukkan tangkapan layar hasil deteksi sensor dan fungsi utama sistem.

Tabel 7. Hasil Blackbox Testing Sistem IoT

No	Komponen yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil
1	Sensor DHT11	Sensor dihubungkan ke Raspberry Pi	Sensor suhu dan kelembaban terbaca	Berhasil
2	Sensor BH1750	Sensor membaca cahaya lingkungan	Data intensitas cahaya tampil	Berhasil
3	Sensor Curah Hujan	Sensor terkena air	Sistem mendeteksi hujan	Berhasil
4	Sensor Anemometer	Sensor terkena aliran angin	Data kecepatan angin tampil	Berhasil
5	Mi Flora Sensor	Sensor terkoneksi Bluetooth	Data kelembaban tanah tampil	Berhasil
6	Pengiriman Data	Sistem terkoneksi internet	Data terkirim ke cloud	Berhasil
7	Penyimpanan Data	Data dikirim ke Google Sheets	Data tersimpan otomatis	Berhasil

```

PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE  TERMINAL  PORTS
Canopy Light Level : 1200 lx
Soil Level Temp : 25.2 °C
Soil Level Moisture : 36 %
Rain Status : No Rain
Wind Speed : 13.4 km/h
-----
IoT Monitoring System
Timestamp : 2024-10-01 11:15:10
Canopy Level Temp : 27.8 °C
Canopy Level Humidity: 62 %
Soil Level Light : 375 lx
Canopy Light Level : 1198 lx
Soil Level Temp : 25.3 °C
Soil Level Moisture : 35 %
Rain Status : No Rain
Wind Speed : 12.9 km/h
-----
IoT Monitoring System
Timestamp : 2024-10-01 11:20:10
Canopy Level Temp : 28.0 °C
Canopy Level Humidity: 61 %
Soil Level Light : 380 lx
Canopy Light Level : 1195 lx
Soil Level Temp : 25.4 °C
Soil Level Moisture : 35 %
Rain Status : No Rain
Wind Speed : 12.7 km/h
-----
PS D:\laragon\www\openweb22>

```

Gambar 4. Hasil Bacaan Sensor

Usability Testing

Usability testing dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan dan kemudahan penggunaan sistem *precision farming* berbasis IoT oleh petani jagung di Kecamatan Bintauna. Pengujian dilakukan menggunakan kuesioner dengan skala Likert yang mencakup aspek kemudahan penggunaan sistem, kejelasan informasi monitoring, relevansi data sensor, serta potensi pemanfaatan teknologi IoT dalam membantu aktivitas budidaya jagung. Kuesioner diberikan kepada 10 responden petani jagung yang terlibat pada lokasi penelitian. Daftar pertanyaan disajikan pada Tabel 8. Persentase usability sistem dihitung menggunakan perbandingan antara total skor yang diperoleh dari seluruh responden dengan skor maksimum yang dapat dicapai. Perhitungan usability dilakukan menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Usability (\%)} = \left(\frac{\text{skor diperoleh}}{\text{skor maksimum}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Berdasarkan hasil pengujian, total skor yang diperoleh adalah 462 dari skor maksimum 500 sehingga diperoleh nilai usability sebesar 92,4% dengan kategori “Sangat Baik”. Sebagian besar responden menyatakan bahwa sistem mudah digunakan, informasi yang ditampilkan mudah dipahami, dan data hasil monitoring dapat membantu proses pengambilan keputusan dalam pengelolaan lahan pertanian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan *precision farming* berbasis IoT memiliki potensi yang baik untuk diterapkan pada sektor pertanian jagung di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara.

Tabel 8. Pertanyaan Uji Usability

No	Pertanyaan
1	Sistem mudah digunakan
2	Tampilan informasi mudah dipahami
3	Data sensor membantu memahami kondisi lahan
4	Sistem membantu monitoring pertanian
5	Sistem membantu pengambilan keputusan
6	Informasi yang diberikan relevan
7	Sistem membantu efisiensi monitoring lahan
8	Teknologi IoT menarik untuk diterapkan
9	Sistem layak digunakan pada pertanian jagung
10	Petani bersedia menggunakan sistem di masa depan

Monitoring Data Sensor

Sistem monitoring dirancang untuk melakukan pembacaan data sensor secara otomatis dan periodik menggunakan bahasa pemrograman Python yang berjalan pada Raspberry Pi 4. Data hasil pembacaan sensor meliputi suhu dan kelembaban udara, intensitas cahaya, curah hujan, kecepatan angin, serta kelembaban tanah yang diperoleh dari sensor

lingkungan pada lahan budidaya jagung. Setelah proses pembacaan dilakukan, data sensor dikirimkan melalui jaringan internet menuju layanan cloud dan direkam pada Google Sheets sebagai media monitoring data pertanian secara real-time [7][9]. Proses pengiriman data secara otomatis memungkinkan petani memperoleh informasi kondisi lahan secara lebih cepat dan mendukung proses dokumentasi data lingkungan pertanian secara berkelanjutan. Gambar 5 menyajikan tangkapan layar monitoring data sensor.

	A	B	C	D	E	F	G	H
	Waktu (dd/mm/yyyy/hh:mm)	Suhu Tanah	Kelembaban Tanah	Suhu Kanopi	Kelembaban Kanopi	Intensitas Cahaya	Curah Hujan	Kecepatan Angin
2	12/09/2024/14:22	28.4°C	68%	31.0°C	74%	2850 lux	Tidak Hujan	2.4 m/s
3	12/09/2024/14:32	28.3°C	68%	30.9°C	74%	2780 lux	Tidak Hujan	2.4 m/s
4	12/09/2024/14:42	28.2°C	67%	30.8°C	75%	2710 lux	Tidak Hujan	2.3 m/s
5	12/09/2024/14:52	28.1°C	67%	30.7°C	75%	2640 lux	Tidak Hujan	2.3 m/s
6	12/09/2024/15:02	28.0°C	66%	30.5°C	76%	2570 lux	Tidak Hujan	2.2 m/s
7	12/09/2024/15:12	27.9°C	66%	30.4°C	76%	2500 lux	Tidak Hujan	2.2 m/s
8	12/09/2024/15:22	27.8°C	65%	30.2°C	77%	2420 lux	Tidak Hujan	2.1 m/s
9	12/09/2024/15:32	27.7°C	65%	30.0°C	77%	2340 lux	Tidak Hujan	2.1 m/s
10	12/09/2024/15:42	27.6°C	64%	29.8°C	78%	2250 lux	Tidak Hujan	2.0 m/s
11	12/09/2024/15:52	27.5°C	64%	29.6°C	78%	2160 lux	Tidak Hujan	2.0 m/s
12	12/09/2024/16:02	27.4°C	63%	29.4°C	79%	2060 lux	Tidak Hujan	1.9 m/s
13	12/09/2024/16:12	27.3°C	63%	29.2°C	79%	1960 lux	Tidak Hujan	1.9 m/s
14	12/09/2024/16:22	27.2°C	62%	29.0°C	80%	1850 lux	Tidak Hujan	1.8 m/s
15	12/09/2024/16:32	27.1°C	62%	28.8°C	80%	1730 lux	Tidak Hujan	1.8 m/s
16	12/09/2024/16:42	27.0°C	61%	28.6°C	81%	1600 lux	Tidak Hujan	1.7 m/s
17	12/09/2024/16:52	26.9°C	61%	28.4°C	81%	1460 lux	Tidak Hujan	1.7 m/s
18	12/09/2024/17:02	26.8°C	60%	28.2°C	82%	1310 lux	Tidak Hujan	1.6 m/s
19	12/09/2024/17:12	26.7°C	60%	28.0°C	82%	1150 lux	Tidak Hujan	1.5 m/s
20	12/09/2024/17:22	26.6°C	59%	27.8°C	83%	980 lux	Tidak Hujan	1.5 m/s

Gambar 5. Tangkapan Layar Data Sensor Google Sheet

Analisis Sistem *Precision farming*

Penerapan IoT pada *precision farming* memberikan berbagai manfaat strategis dalam pengelolaan budidaya jagung, terutama pada aspek monitoring lingkungan secara real-time, efisiensi penggunaan sumber daya, dan pengambilan keputusan berbasis data [7][8][9][14]. Sistem yang dikembangkan memungkinkan petani memperoleh informasi kondisi suhu, kelembaban udara, intensitas cahaya, curah hujan, dan kelembaban tanah secara periodik. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan tindakan budidaya seperti penyiraman, pengelolaan irigasi, dan pemantauan kondisi pertumbuhan tanaman. Tabel 9 menunjukkan analisis manfaat implementasi sistem *precision farming* berbasis IoT pada budidaya jagung.

Tabel 9. Analisis Manfaat Implementasi IoT

Manfaat	Dampak
Monitoring real-time	Informasi kondisi lahan lebih cepat
Efisiensi air	Mengurangi pemborosan air
Monitoring otomatis	Mengurangi pekerjaan manual
Dokumentasi data	Mendukung analisis pertanian
Pengambilan keputusan	Mendukung tindakan berbasis data

Selain memberikan manfaat teknis, sistem ini juga memiliki potensi untuk meningkatkan literasi digital petani terhadap teknologi pertanian modern. Implementasi *precision farming* berbasis IoT sangat relevan dengan kondisi pertanian di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara yang masih didominasi metode tradisional [11][18]. Namun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti belum tersedianya dashboard visualisasi berbasis web dan belum diterapkannya metode analisis prediktif berbasis kecerdasan buatan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dapat diarahkan pada pengembangan sistem smart farming yang lebih adaptif dan otomatis. Implementasi smart farming berbasis IoT berpotensi meningkatkan efektivitas pengelolaan pertanian dan mendukung modernisasi sektor pertanian berbasis teknologi digital [17][21].

5. Kesimpulan

Implementasi *precision farming* berbasis IoT berpotensi memberikan manfaat terhadap proses pengelolaan budidaya jagung, terutama dalam mendukung monitoring kondisi lahan, efisiensi penggunaan sumber daya, dan pengambilan keputusan berbasis data. Tingkat pemahaman dan kesiapan petani terhadap teknologi pertanian digital menunjukkan bahwa petani memiliki tingkat penerimaan yang baik terhadap penerapan teknologi IoT pada sektor pertanian dengan persentase sebesar 83,6%. Temuan ini menunjukkan bahwa *precision farming* berbasis IoT memiliki peluang yang baik untuk dikembangkan pada budidaya jagung di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara.

Sistem IoT yang dikembangkan mampu mendukung proses monitoring lingkungan pertanian secara real-time melalui integrasi Raspberry Pi dan berbagai sensor lingkungan. Sistem ini memanfaatkan sensor DHT11, BH1750, sensor curah hujan, sensor anemometer, serta Mi Flora Plant Sensor untuk memperoleh data kondisi lingkungan pertanian secara periodik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan pembacaan parameter lingkungan seperti suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, curah hujan, kecepatan angin, dan kelembaban tanah dengan interval monitoring setiap 10 menit. Data hasil monitoring berhasil dikirimkan ke layanan cloud dan direkam menggunakan Google Sheets sebagai media monitoring dan dokumentasi data pertanian secara *real-time*.

Hasil usability testing yang dilakukan terhadap 10 petani jagung di Kecamatan Bintauna menunjukkan bahwa sistem memperoleh skor *usability* dengan persentase sebesar 92,4% dan kategori “Sangat Baik”. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem dinilai mudah digunakan, informatif, dan relevan untuk membantu aktivitas monitoring budidaya jagung.

Pengembangan lebih lanjut dapat difokuskan pada integrasi dashboard berbasis web, analisis data berbasis kecerdasan buatan, pengembangan sistem notifikasi otomatis, serta integrasi sistem kendali otomatis seperti *smart irrigation* untuk meningkatkan efektivitas implementasi *precision farming*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas Sam Ratulangi yang telah memberikan dukungan dan pendanaan terhadap pelaksanaan penelitian ini melalui Dana PNBPU BLU Universitas Sam Ratulangi Tahun Anggaran 2024. Dukungan tersebut sangat membantu dalam proses pengembangan dan implementasi penelitian mengenai penerapan teknologi IoT pada sistem *precision farming* untuk budidaya jagung di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, Sulawesi Utara.

Daftar Pustaka

- [1] Rukmana, R. 1997. Usaha Tani Jagung. Yogyakarta: Kanisius.
- [2] Sulaiman, A.A., Djufry, F., dan Batheun, A.H. 2024. Budidaya Jagung Terstandar. Pertanian Press.
- [3] Badan Pusat Statistik. 2023. Luas Panen dan Produksi Jagung di Indonesia.
- [4] Beluhova-Uzunova, R.P., dan Dunchev, D.M. 2019. *Precision farming – Concepts and Perspectives*. Problems of Agricultural Economics.
- [5] Suresh, P., Vijay, D., dan Parthasarathy, V. 2014. State of the Art Review on the Internet of Things (IoT): History, Technology and Fields of Deployment.
- [6] Upton, E., dan Halfacree, G. 2014. Raspberry Pi User Guide. Wiley.
- [7] Madushanki, A.A.R., Halgamuge, M.N., Wirasagoda, W.A.H.S., dan Syed, A. 2019. Adoption of the Internet of Things (IoT) in Agriculture and Smart Farming Towards Urban Greening.
- [8] Dagar, R., Som, S., dan Khatri, S.K. 2018. Smart Farming – IoT in Agriculture.
- [9] Gaikwad, S.V., Vibhute, A.D., Kale, K.V., dan Mehrotra, S.C. 2021. An Innovative IoT Based System for *Precision farming*.
- [10] Hidayatulloh, S. 2016. Internet of Things Bandung Smart City. Jurnal Informatika.
- [11] Pemerintah Kabupaten Bolaang Mongondow Utara. 2024. Rencana Pembangunan Daerah Kabupaten Bolaang Mongondow Utara 2024–2026.
- [12] Purwono dan Hartono. 2010. Bertanam Jagung Unggul. Penebar Swadaya.
- [13] Syawal, A.M. 2018. Perancangan Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah Perkebunan Berbasis Internet of Things Menggunakan Protokol Aplikasi Telegram.
- [14] Sean et al. 2013. Towards the Implementation of IoT for Environmental Condition Monitoring in Homes. IEEE Sensors Journal.
- [15] Xiao, J., Chenying, Z., dan Yu, Z. 2013. The Design of Wild Animals Monitoring System Based on 3G and Internet of Things.
- [16] Jianjun, Z., dan Mingxing, L. 2013. Evaluation of Coal Mining Safety Management Information System Based on the Internet of Things.
- [17] Jaiganesh, S., Gunaseelan, K., dan Ellappan, V. 2017. IoT Agriculture to Improve Food and Farming Technology.
- [18] Pemerintah Provinsi Sulawesi Utara. 2023. Statistik Pertanian Provinsi Sulawesi Utara.
- [19] Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., dan Aggoune, E.H.M. 2022. Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk. IEEE Access.
- [20] Elijah, O., Rahman, T.A., Orikumhi, I., Leow, C.Y., dan Hindia, M.N. 2023. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. IEEE Internet of Things Journal.
- [21] Sharma, P., Singh, A., dan Kumar, R. 2024. Smart Farming Using IoT and Artificial Intelligence for Sustainable Agriculture. Journal of Agricultural Informatics.