

Sistem Monitoring Profil Kedalaman Tingkat Kelembapan Tanah Berbasis IoT dan LoRa

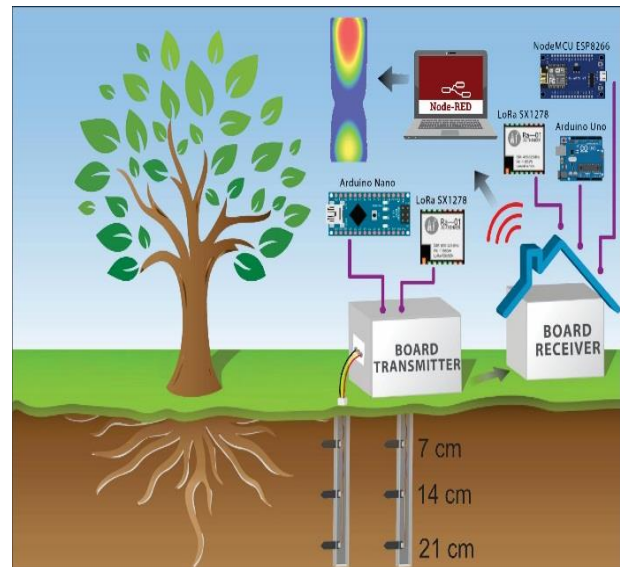
Linggar Ajeng Ywana Merbawani, Muhammad Rivai dan Harris Pirngadi
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: muhammad_rivai@ee.its.ac.id

Abstrak—Kelembapan tanah mempunyai pengaruh besar pada sektor pertanian. Dengan mengetahui kelembapan tanah, maka sistem irigasi yang digunakan dapat ditentukan. Namun, sistem irigasi yang ada memiliki tingkat efisiensi rendah. Akibatnya, tingkat produktivitas pertanian akan menurun karena kelembapan tanah tidak dapat diketahui secara presisi dan *real time*. Karena itu, pada penelitian ini dirancang sebuah sistem monitoring profil kedalaman tingkat kelembapan tanah. Bagian *transmitter* sistem terdiri dari Arduino Nano yang berperan sebagai media pembacaan data. Data diperoleh dari 3 buah *capacitive soil moisture sensors* yang masing-masing diletakkan di kedalaman yang berbeda pada titik area yang sama. Data prediksi kelembapan tanah per kedalaman tertentu dapat diketahui dari fungsi regresi yang terbentuk dari data kelembapan tanah masing-masing sensor terhadap kedalaman. Data dikirim oleh *transmitter* LoRa SX1278 dan diterima *receiver* LoRa SX1278. Setelahnya, data diproses oleh Arduino Uno yang dihubungkan dengan NodeMCU ESP8266 dan ditampilkan pada *Node-RED Dashboard* melalui Wi-Fi. Sistem juga dilengkapi *sleep mode* untuk menghemat daya. Hasil yang dicapai pada penelitian ini adalah alat dapat memprediksi kelembapan tanah dengan rata-rata error pada tanah humus 10,7%, pada tanah pasir 21,9%, dan tanah pertanian 8,8% serta berhasil memvisualisasikan data kelembapan tanah dari jarak jauh secara *real time* sehingga pengukuran manual di lapangan tidak lagi dibutuhkan.

Kata Kunci—Arduino, Kelembapan Tanah, LoRa, NodeMCU, Profil Kedalaman.

I. PENDAHULUAN

SISTEM pertanian yang diterapkan sekarang belum dapat mengetahui kondisi kelembapan tanah secara *real time* sehingga kebutuhan air irigasi hanya berdasarkan pada intuisi petani [1-2]. Hal ini akan menimbulkan *over* dan *under irrigation* [3]. Dampak dari *over irrigation* yakni nutrisi dari pupuk tidak terserap sampai akar tanaman. Setidaknya 30%-50% konsumsi air irigasi terbuang akibat dari sistem irigasi yang tidak efisien. Di sisi lain *under-irrigation* akan menyebabkan tanaman mengalami *water stress* karena air tidak dapat menjangkau sampai ujung akar tanaman. Belum lagi ada tanaman yang memang memerlukan kontrol kelembapan yang ketat seperti wasabi yang hanya dapat hidup apabila irigasi menyediakan kelembapan sampai ujung akar tanaman, namun tidak boleh sampai saturasi [4]. Tanaman jenis cabai, kentang dan terong juga sangat rentan terhadap kekurangan dan kelebihan air selama masa pertumbuhan [5]. Maka dari itu, pada penelitian kali ini akan dirancang sebuah sistem monitoring profil kedalaman tingkat kelembapan tanah menggunakan IoT dan LoRa. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan serangkaian sensor kelembapan tanah yang diletakkan di dalam tanah pada kedalaman yang berbeda-beda. Dengan demikian, data prediksi kelembapan tanah per kedalaman tertentu dapat diketahui dari fungsi regresi yang terbentuk dari data



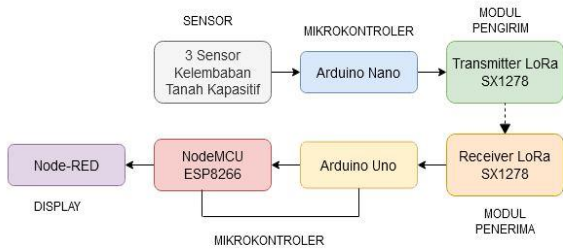
Gambar 1. Skema sistem keseluruhan.

kelembapan tanah masing-masing sensor terhadap kedalaman, yang mana dibaca dan diproses oleh Arduino Nano. Sistem ini menggunakan modul LoRa sehingga dapat digunakan untuk monitoring kadar kelembapan tanah per kedalaman tertentu dari jarak jauh. LoRa dipilih karena cocok untuk diimplementasikan pada area yang tidak memiliki akses internet yang memadai [6-7]. Data yang diperoleh dari sistem nantinya dapat diketahui melalui Node-RED sehingga diharapkan hasil pengukuran kelembapan tanah bisa didapatkan secara *real time* dan pengukuran manual di lapangan tidak lagi dibutuhkan.

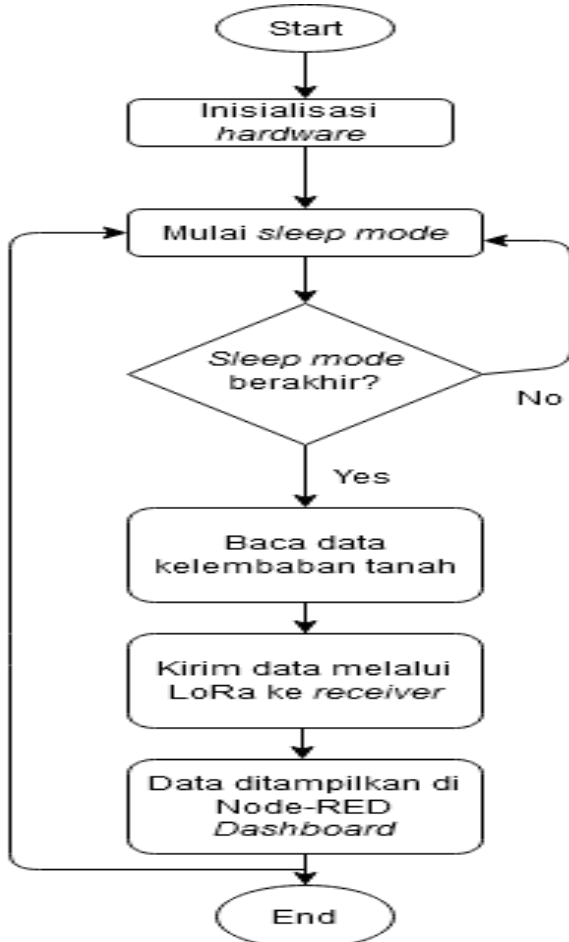
II. PERANCANGAN SISTEM

Alat yang dibuat terdiri dari dua bagian yakni blok *transmitter* dan blok *receiver* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Blok pengirim terdiri dari 3 buah sensor kelembapan tanah kapasitif yang masing-masing diletakkan di kedalaman 7 cm, 14 cm, dan 21 cm, Arduino Nano, dan modul *transmitter* LoRa SX1278. Sensor kelembapan tanah kapasitif berfungsi sebagai alat untuk mengukur kelembapan tanah, Arduino Nano sebagai media pemrosesan data, serta modul *transmitter* LoRa SX1278 untuk mengirim data. Data kelembapan tanah dari masing-masing sensor kelembapan tanah kapasitif dibaca oleh Arduino Nano dan dilakukan pemrosesan data untuk mendapatkan fungsi regresi dari masing-masing kelembapan tanah pada kedalaman tiap sensor untuk selanjutnya didapatkan prediksi kelembapan tanah pada kedalaman tertentu. Blok diagram sistem keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.

Untuk menentukan fungsi regresi digunakan metode *polynomial regression* orde 2. Hasil pemrosesan data tersebut akan diteruskan ke *transmitter* LoRa SX1278 dan dikirimkan



Gambar 2. Blok diagram sistem keseluruhan.



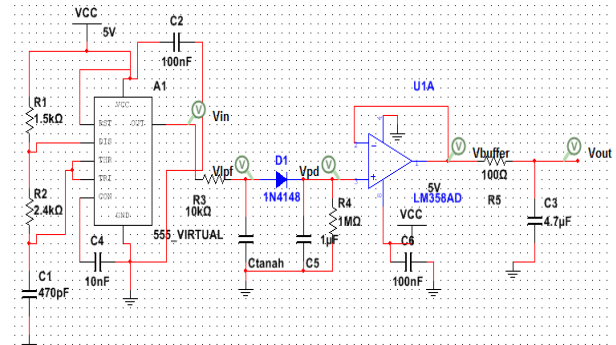
Gambar 3. Flowchart sistem keseluruhan.

ke board receiver yang terdiri dari LoRa SX1278, Arduino Uno, dan NodeMCU ESP8266 sebagai modul Wi-Fi yang dihubungkan secara serial dengan Arduino Uno untuk menampilkan data pada user interface. Sistem akan dilengkapi dengan sleepmode untuk menghemat daya di lapangan. Flowchart sistem keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.

A. Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif

Kelembapan tanah dapat diukur dengan beberapa cara, salah satunya dengan menggunakan sensor kelembapan tanah kapasitif [8]. Tegangan masukan dari Capacitive Soil Moisture Sensor adalah 3,3 V. Rangkaian skematik sensor kelembapan tanah ditunjukkan pada Gambar 4. Rangkaian ini mempunyai output berupa voltase analog. Frekuensi yang dihasilkan oleh NE555 direpresentasikan dalam persamaan:

$$f = \frac{1}{0.694(R_1 + 2R_2)C} \tag{1}$$



Gambar 4. Rangkaian sensor kelembapan tanah.



Gambar 5. Sensor kelembapan tanah kapasitif.

Sehingga dari persamaan (1) pada rangkaian di atas didapat nilai frekuensi *astable multivibrator* sebesar 487,336 kHz lalu dilewatkan *low pass filter* yang berubah-ubah mengikuti perubahan nilai kapasitansi yang terbentuk oleh tanah. Voltase keluaran dari *low pass filter* atau V_{LPF} ini direpresentasikan dalam persamaan:

$$V_{LPF} = \frac{V_{in}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} \tag{2}$$

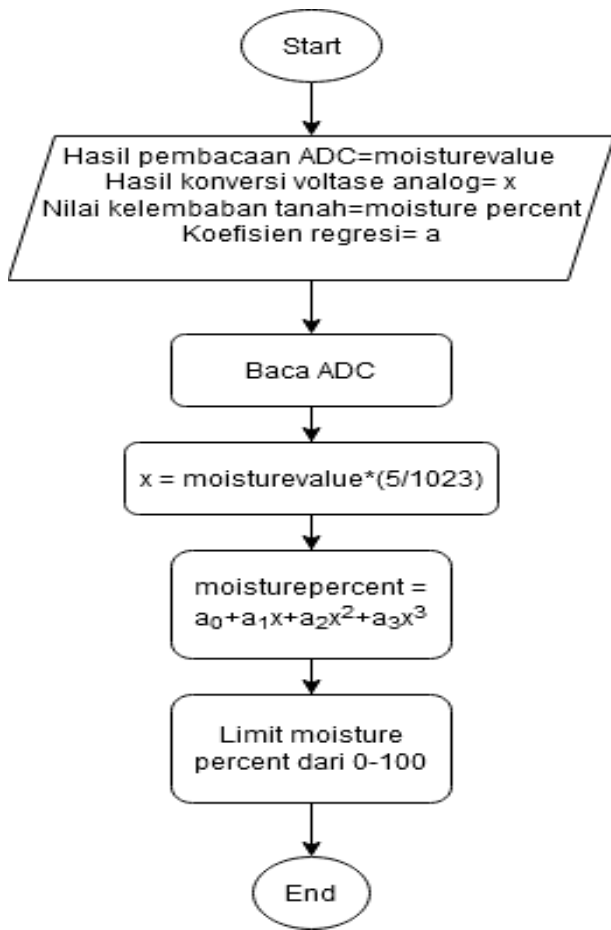
Karena f_c sama dengan nilai frekuensi pada kapasitansi antara tanah dengan elektroda, maka diperoleh:

$$V_{LPF} = \frac{V_{in}}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}} \tag{3}$$

Di mana f merupakan frekuensi *astable multivibrator* dan C merupakan kapasitansi yang terbentuk oleh tanah dan elektroda. Sinyal kemudian diteruskan ke rangkaian *peak detector* untuk mendeteksi tegangan puncaknya sehingga mempermudah pembacaan pada mikrokontroler. Dengan demikian, nilai V_{pd} sama dengan:

$$V_{pd} = \begin{cases} V_{LPF}, & 0 < t < \frac{T}{4} \\ V_{C_s}, & t > \frac{T}{4} \end{cases} \tag{4}$$

Di mana $\frac{T}{4}$ adalah kondisi ketika terjadi puncak pertama pada T periode. Resistor 1 MΩ ditambahkan guna memberikan fungsi *decay* pada kapasitor sehingga kapasitor



Gambar 6. Flowchart program pembacaan sensor.

dapat diisi dengan nilai *peak* baru apabila tidak mencapai *peak* pada satuan waktu tertentu. Output dari *peak detector* akan diteruskan ke *non-inverting amplifier* sebagai *buffer*. Karena merupakan *buffer*, maka *gain*-nya bernilai 1 sehingga:

$$V_{buffer} = V_{pd} \tag{5}$$

Setelah diamplifikasi oleh *buffer* selanjutnya keluarannya difilter kembali dengan *low pass filter* untuk meredam output dari *low pass filter* yang pertama. Voltase output dari rangkaian sensor ditunjukkan dalam persamaan:

$$V_{out} = \frac{V_{buffer}}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}} \tag{6}$$

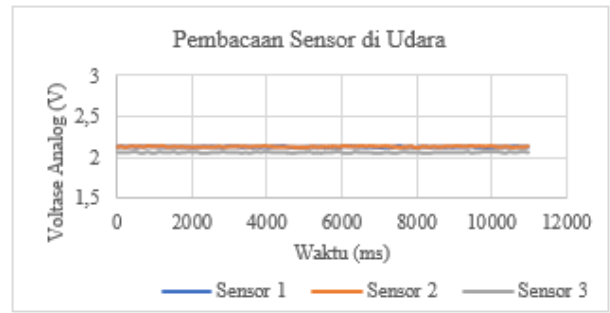
Di mana *f* merupakan frekuensi *astable multivibrator* dan *RC* merupakan nilai komponen pada *low pass filter* kedua. Badan sensor terdiri dari PCB sebagai tempat komponen dan juga *probe* untuk dijorokkan ke tanah. Sensor kelembaban tanah kapasitif ditunjukkan pada Gambar 5.

B. Pembacaan Sensor Kelembaban Tanah Kapasitif

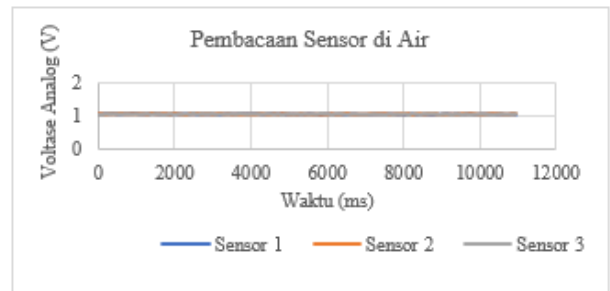
Pembacaan sensor akan di-*mapping* ke skala 0-100 setelah didapatkan fungsi regresi dari hasil kalibrasi sensor. Fungsi regresi ini merupakan fungsi regresi voltase analog sensor terhadap tingkat kelembaban tanah. *Flowchart* pembacaan sensor kelembaban tanah ditunjukkan pada Gambar 6.

C. Pengiriman Data Menggunakan SX1278

Pengiriman data dari modul SX1278 menggunakan library “LoRa.h”. Frekuensi yang digunakan di 433 MHz. Sedangkan penerimaan data melalui LoRa hanya dibutuhkan *setting* frekuensi yang sesuai dengan *transmitter*, lalu data



Gambar 7. Hasil pembacaan sensor di udara.



Gambar 8. Hasil pembacaan sensor di air.

yang diterima akan di-*parsing* sehingga didapatkan data semula yang telah dikirim oleh *transmitter* [9-10].

D. Perancangan User Interface

Pada tahap ini dilakukan perancangan proses penampilan data menggunakan NodeRED. Untuk desain tampilan menggunakan *widget* yang telah disediakan oleh NodeRED. *Widget* yang digunakan berupa *Heatmap*. *Heatmap* digunakan untuk menampilkan visualisasi data kelembaban tanah terhadap kedalaman dari sensor dalam bentuk gradasi warna merah ke biru. Merah berarti kelembaban tanah kurang, sedangkan biru berarti kelembaban tanah tinggi.

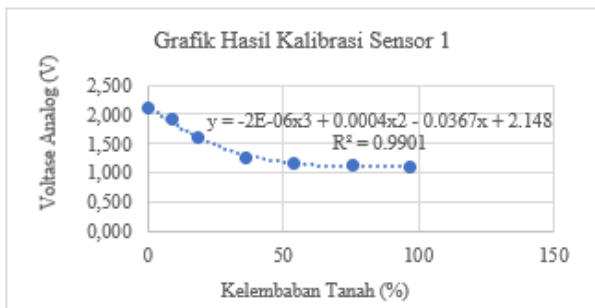
III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Batas Atas dan Batas Bawah Sensor

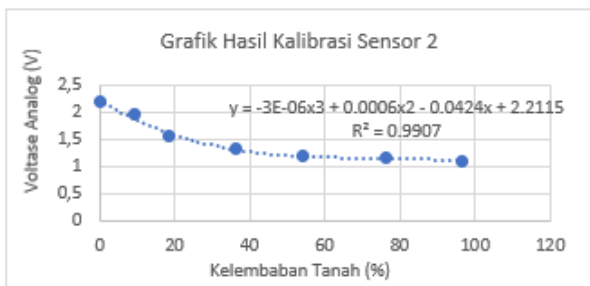
Pengujian sensor kelembaban tanah kapasitif dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino. Tahap awal pengujian ini yaitu dengan meletakkan sensor di air dan di udara. Hal ini dilakukan untuk memastikan apakah sensor yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik atau tidak. Hasil pengujian batas atas dan batas bawah sensor ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Pembacaan sensor untuk batas atas dengan sampel uji kelembaban tanah di udara adalah 2,04 V sampai 2,15 V. Sedangkan hasil pengukuran dari batas bawah dengan sampel uji kelembaban tanah di air adalah 1,04 V sampai 1,07 V.

B. Kalibrasi Sensor Kelembaban Tanah Kapasitif

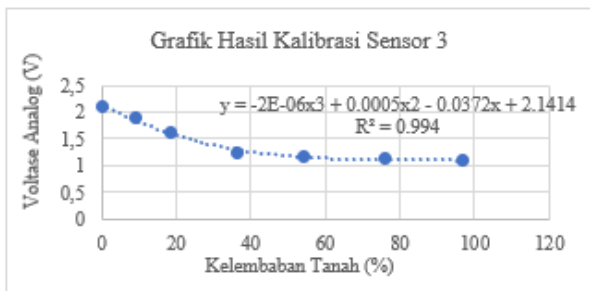
Pada tahap ini, sensor akan mengukur data kelembaban dari sampel tanah. Sampel tanah diambil di Desa Jambean, Kecamatan Kras, Kabupaten Kediri, Provinsi Jawa Timur. Tanah yang diambil merupakan tanah yang digunakan untuk menanam tumbuhan cabai. Respon sensor dalam bentuk data voltase dicatat. Data kelembaban dari sampel akan diukur dengan pendekatan volumetri. Baik data dari sensor dan data dari pendekatan volumetri akan dibandingkan dan dianalisis. Sampel tanah akan dikeringkan dengan cara diratakan pada alas koran hingga tidak ada batu, kerikil, maupun tanah yang



Gambar 9. Grafik hasil kalibrasi sensor 1.



Gambar 10. Grafik hasil kalibrasi sensor 2.

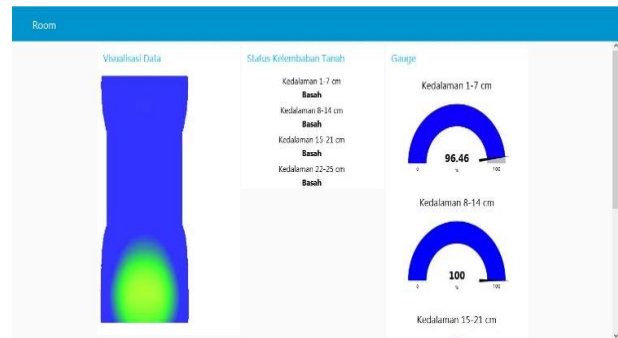


Gambar 11. Grafik hasil kalibrasi sensor 3.

menggumpal dan dijemur di udara terbuka selama 24 jam. Berikutnya sampel akan dibagi menjadi 7 bagian yang diletakkan pada sebuah wadah kontainer plastik. Masing-masing kontainer diisi oleh sampel tanah dengan volume sebesar 160 ml. Seluruh kontainer mengalami penambahan volume air masing-masing sebesar 0%, 10%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Persen penambahan volume didasarkan pada penambahan volume dalam ml banding total volume tanah. Misalnya penambahan 1 ml air pada 10 ml tanah berarti penambahan volume air sebesar 10%. Nilai kapasitansi pada tiap sensor terhadap tiap sampel tanah diukur menggunakan LCR meter. Setelah dilakukan pengukuran, massa tiap sampel tanah basah akan ditimbang lalu dikeringkan dalam oven bersuhu 105 °C selama 24 jam untuk mengetahui massa sampel tanah kering. Data VWC yang telah diperoleh kemudian dibandingkan dengan voltase analog terukur oleh tiap-tiap sensor dan diregresi menggunakan teknik regresi polinomial. Plot grafik dibuat dengan meletakkan X axis sebagai VWC terukur, dan Y axis sebagai voltase analog terukur untuk masing-masing sensor. Langkah ini bertujuan guna memperoleh fungsi kalibrasi sensor. Grafik hasil kalibrasi sensor ditunjukkan pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.

C. Pengujian Pengiriman Data dengan SX1278

Pengujian pengiriman data menggunakan LoRa SX1278 dilakukan dengan cara mengirimkan data dari transmitter ke receiver. Data yang dikirim merupakan data fungsi regresi



Gambar 12. Hasil visualisasi data prediksi kelembapan tanah pada Node-RED Dashboard.

Tabel 1. Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah humus dengan penambahan 20% air ke-1 pada 30 menit pertama

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	70	4	3	0.66	-23.36	201	29	0
2	59	32	16	0.11	-6.21	97	10	0
3	68	46	15	-0.09	-1.21	81	0	0
4	64	55	16	-0.31	5.14	43	0	0
5	63	56	16	-0.34	6.07	37	0	0
6	58	58	16	-0.43	9	16	0	0
7	56	56	16	-0.41	8.57	16	0	0
8	52	56	16	-0.45	10	4	0	0
9	46	55	16	-0.49	11.57	-11	0	0
10	43	54	16	-0.5	12.07	-17	0	0

yang terbentuk dari data kelembapan tanah di 3 titik kedalaman berbeda. Didapatkan pengujian range LoRa pada area padat penduduk maksimal sampai 100 meter, sedangkan pada area Line of Sight maksimal sampai 500 meter.

D. Pengujian User Interface

Setelah data diterima oleh receiver LoRa SX1278, data akan ditampilkan pada webserver. Proses penampilan data ini dibantu oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai modul Wi-Fi.

Data ini akan diproses oleh server untuk ditampilkan prediksi kelembapan tanahnya mulai dari kedalaman 1 cm sampai 25 cm. Komunikasi antara NodeMCU ESP8266 dan Node-RED menggunakan protokol komunikasi MQTT. Pada MQTT, dibutuhkan broker untuk menerima, memfilter, dan mem-publish pesan ke semua client yang di-subscribe. MQTT broker yang digunakan ialah HiveMQ. Setelah terhubung dengan broker, selanjutnya ialah menata flow untuk menampilkan data pada Node-RED Dashboard. Flow terdiri dari Moisture Level sebagai MQTT in, Function sebagai node untuk mengolah data yang masuk, debug untuk melihat apakah data sudah terkirim ke Node-RED.

UI Heatmap untuk visualisasi data prediksi kelembapan tanah terhadap kedalaman, Gauge untuk menampilkan persen rata-rata kelembapan tanah sesuai range kedalaman, dan Text untuk menampilkan kondisi kelembapan tanah yaitu kering, ideal, dan basah. Sesuai data kelembapan tanah ideal tiap tanaman pertanian, kelembapan tanah kering berkisar antara 0%-40%, kelembapan ideal 40%-60%, kelembapan tanah basah 60%-100%. Data urut mulai dari atas ke bawah (kedalaman 1-25 cm). Tingkatan warnanya yaitu merah-kuning-hijau-biru dari nilai kelembapan terendah sampai tertinggi. Hasil visualisasi data ditunjukkan pada Gambar 12.

Tabel 2.
Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah humus dengan penambahan 20% air ke-2 pada 30 menit pertama

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	49	78	61	-0.47	14	-26	30,25	43
2	47	81	73	-0.43	13.86	-29	48,75	67
3	50	76	82	-0.2	8	4	79	74
4	45	76	82	-0.26	9.79	-11	71,25	74
5	43	76	82	-0.28	10.5	-17	70,5	76
6	43	73	84	-0.19	8.36	-6	84,25	76
7	41	76	86	-0.26	10.36	-19	77,5	74
8	41	75	82	-0.28	10.64	-20	71	76
9	37	73	82	-0.28	10.93	-26	72,25	76
10	40	73	82	-0.24	9.86	-17	79,5	78

Tabel 3.

Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah humus setelah penjemuran hari ke-1

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	33	52	38	-0.34	9.79	-19	13,25	18
2	34	51	38	-0.31	8.86	-13	14,75	18
3	34	51	38	-0.31	8.86	-13	14,75	17
4	32	52	40	-0.33	9.71	-20	16,5	18
5	35	52	41	-0.29	8.43	-10	19,5	18
6	36	52	40	-0.29	8.29	-8	18	18
7	34	52	41	-0.3	8.79	-13	19,25	17
8	36	55	45	-0.3	8.93	-13	22,75	20
9	40	55	43	-0.28	7.93	-2	21,25	20
10	34	53	42	-0.31	9.14	-15	19,75	18

Tabel 4.

Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah humus setelah penjemuran hari ke-2

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	26	46	38	-0.29	8.86	-22	18,25	18
2	28	48	41	-0.28	8.64	-19	22	22
3	28	50	40	-0.33	10	-26	17,75	22
4	27	48	37	-0.33	9.86	-26	14,25	18
5	27	48	40	-0.3	9.21	-23	19,75	21
6	29	52	45	-0.31	9.71	-24	25	23
7	25	46	37	-0.31	9.43	-26	16	19
8	29	49	41	-0.29	8.86	-19	21,25	24
9	29	49	43	-0.27	8.43	-17	25	23
10	26	47	38	-0.31	9.43	-25	17	19

E. Pengujian Hasil Prediksi Kelembapan Tanah

Pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil prediksi kelembapan tanah pada area kedalaman yang tidak ter-cover oleh sensor. Pengujian dilakukan pada wadah kaca dengan sepetak tanah berukuran 10×21×28 cm. Tanah yang diuji ada dua macam yakni tanah humus dan tanah berpasir yang sebelumnya dikeringkan hingga tidak ada lagi kadar air pada tanah tersebut. Selain itu, pengujian hasil prediksi kelembapan tanah juga dilakukan di area persawahan. yang berlokasi di Desa Jamban, Kecamatan Kras, Kabupaten Kediri, Jawa Timur. Adapun digunakan satu sensor kelembapan tanah kapasitif yang telah dikalibrasi dan diletakkan pada kedalaman 25 cm sebagai sarana untuk mengecek hasil kelembapan tanah terukur pada kedalaman tersebut agar selanjutnya dapat dibandingkan dengan hasil

Tabel 5.
Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah humus setelah penjemuran hari ke-3

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	20	35	26	-0.24	7.29	-19	13,25	11
2	17	31	22	-0.23	6.93	-20	9,5	9
3	21	34	28	-0.19	5.93	-11	18,5	10
4	22	36	29	-0.21	6.5	-13	18,25	11
5	22	38	31	-0.23	7.21	-17	19,5	11
6	22	38	31	-0.23	7.21	-17	19,5	11
7	18	32	24	-0.22	6.71	-18	12,25	10
8	23	36	30	-0.19	5.93	-9	20,5	11
9	22	36	30	-0.2	6.29	-12	20,25	11
10	20	34	25	-0.23	6.93	-17	12,5	10

Tabel 6.

Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah pasir dengan penambahan 20% air yang pertama

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	13	22	49	0.18	-2.57	22	70,25	45
2	13	23	50	0.17	-2.21	20	71	49
3	13	22	50	0.19	-2.79	23	72	46
4	12	23	51	0.17	-2.07	18	72,5	48
5	12	22	50	0.18	-2.43	20	71,75	49
6	11	23	49	0.14	-1.29	13	68,25	48
7	11	22	51	0.18	-2.29	18	73,25	48
8	11	23	50	0.15	-1.5	14	70,25	46
9	11	24	51	0.14	-1.14	12	71	49
10	11	22	53	0.2	-2.71	20	77,25	52

Tabel 7.

Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah pasir dengan penambahan 20% air yang kedua

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	37	47	100	0.46	-8.21	72	100	92
2	36	48	100	0.45	-7.71	68	100	88
3	34	48	100	0.41	-6.57	60	100	90
4	32	45	100	0.45	-7.57	63	100	86
5	30	45	99	0.4	-6.21	54	100	88
6	30	45	97	0.38	-5.79	52	100	90
7	29	46	97	0.35	-4.86	46	100	88
8	27	47	99	0.33	-4	39	100	86
9	28	45	97	0.36	-4.07	46	100	86
10	27	45	97	0.35	-4.71	43	100	84

prediksi. Prediksi kelembapan tanah menggunakan regresi polinomial orde 2 dan hasil kelembapan tanah dibatasi dari range 0-100.

1) Pengujian Hasil Prediksi Kelembapan Tanah Humus

Tanah humus diuji dengan penambahan air sebanyak 20% dan dilakukan hingga kelembapan tanah pada kedalaman 25 cm saturasi. Data diambil setiap tiga menit per 30 menit. Setelah saturasi, sistem yang diuji akan dijemur dan diukur hasil prediksi kelembapan tanahnya selama 3 hari. Tabel hasil pengujian prediksi kelembapan tanah humus dengan penambahan air ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Pada penambahan air ketiga, kelembapan tanah telah mencapai saturasi.

Setelah dilakukan penambahan air sebanyak 20% hingga saturasi, selanjutnya sampel tanah dijemur di bawah sinar

Tabel 8.
Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah pasir setelah penjemuran hari ke-1

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	16	12	11	0.03	-1.21	23	11,5	13
2	16	12	13	0.05	-1.64	25	15,25	12
3	16	11	14	0.08	-2.43	29	18,25	12
4	16	11	14	0.08	-2.43	29	18,25	13
5	16	11	14	0.08	-2.43	29	18,25	12
6	16	11	14	0.08	-2.43	29	18,25	13
7	16	11	14	0.08	-2.43	29	18,25	13
8	16	11	15	0.09	-2.64	30	20,25	12
9	16	11	14	0.08	-2.43	29	18,25	12
10	16	11	15	0.09	-2.64	30	20,25	12

Tabel 9.
Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah pasir setelah penjemuran hari ke-2

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	16	8	11	0.11	-3.50	35	16,25	17
2	16	8	12	0.12	-3.71	36	18,25	17
3	16	7	11	0.13	-4.07	38	17,5	17
4	16	5	11	0.17	-5.21	44	20	17
5	16	6	10	0.14	-4.43	40	16,75	17
6	16	6	8	0.12	-4.00	38	13	16
7	16	7	9	0.11	-3.64	36	13,75	16
8	16	8	11	0.12	-3.71	36	18,25	17
9	16	12	12	0.04	-1.43	24	13,25	9
10	16	12	12	0.04	-1.43	24	20,25	9

matahari selama 3 hari untuk diukur prediksi kelembapannya. Hasil prediksi kelembapan tanah pada hari pertama penjemuran ditunjukkan pada Tabel 3, penjemuran hari kedua ditunjukkan pada Tabel 4, dan penjemuran pada hari ketiga ditunjukkan pada Tabel 5.

2) Pengujian Hasil Prediksi Kelembapan Tanah Pasir

Pada pengujian hasil prediksi kelembapan pada tanah pasir, proses pengambilan data dilakukan setiap 1 menit sekali selama 10 menit. Hal ini dilakukan karena jenis tanah pasir mudah menyerap air sehingga laju penyerapan airnya cukup cepat. Tabel pengukuran hasil prediksi kelembapan tanah pasir dengan penambahan air ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7, sedangkan tabel hasil prediksi kelembapan tanah setelah dilakukan penjemuran ditunjukkan pada Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10.

Dimana HP merupakan Hasil Prediksi dan HS merupakan Hasil Sebenarnya

3) Pengujian Hasil Prediksi Kelembapan di Area Persawahan

Data prediksi kelembapan tanah area persawahan diambil per 3 menit selama 30 menit. Tabel hasil prediksi kelembapan tanah di area persawahan ditunjukkan pada Tabel 11.

Dari data-data pengujian hasil prediksi kelembapan tanah yang telah dilakukan, diketahui bahwa pengukuran hasil prediksi untuk kelembapan tanah humus memiliki rata-rata error sebesar 10,7%, pengukuran hasil prediksi untuk kelembapan tanah pasir memiliki rata-rata error sebesar 21,9%, dan pengukuran hasil prediksi untuk kelembapan tanah pertanian memiliki rata-rata error sebesar 8,8%. Maka

Tabel 10.
Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah pasir setelah penjemuran hari ke-3

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	16	11	12	0.06	-2.00	27	14,5	14
2	16	11	12	0.06	-2.00	27	14,5	14
3	16	11	13	0.07	-2.21	28	16,5	15
4	16	11	13	0.07	-2.21	28	16,5	14
5	16	11	12	0.06	-2.00	27	14,5	14
6	16	11	12	0.06	-2.00	27	14,5	14
7	16	11	12	0.06	-2.00	27	14,5	14
8	16	11	12	0.06	-2.00	27	14,5	14
9	16	11	12	0.06	-2.00	27	14,5	14
10	16	11	12	0.06	-2.00	27	14,5	14

Tabel 11.
Hasil pengujian prediksi kelembapan tanah pada area persawahan

No.	Kelembapan Tanah (%)			Koefisien Regresi			Kelembapan pada 25 cm (%)	
	7 cm	14 cm	21 cm	a ₂	a ₁	a ₀	HP	HS
1	39	48	71	0.14	-1.71	44	88,75	86
2	39	45	71	0.2	-3.43	53	92,5	86
3	40	44	69	0.21	-3.93	57	90	84
4	39	44	69	0.2	-3.57	54	89,75	82
5	40	45	69	0.19	-3.36	54	88,75	84
6	41	43	69	0.24	-4.83	63	91,5	84
7	37	44	67	0.16	-2.43	46	85,25	82
8	40	43	69	0.23	-4.5	60	91,25	82
9	40	43	69	0.23	-4.5	60	91,25	82
10	40	42	69	0.26	-5.07	63	98,75	82

dapat diketahui bahwa pengukuran hasil prediksi memiliki error yang lebih kecil untuk pengukuran pada tanah humus dan jenis tanah pertanian dibandingkan pengukuran hasil prediksi kelembapan tanah pada jenis tanah pasir sehingga cocok diimplementasikan untuk area perkebunan atau persawahan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan pada pelaksanaan penelitian ini, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu sistem monitoring profil kedalaman tingkat kelembapan tanah berbasis IoT dan LoRa dapat bekerja dengan baik. Hal ini dibuktikan dari kelembapan tanah pada kedalaman tertentu dapat diprediksi nilainya menggunakan regresi polinomial orde 2 dengan rata-rata error 8,8% untuk tanah humus dan 10,7% untuk tanah pertanian. Data kelembapan tanah juga dapat dipantau dari jarak jauh menggunakan LoRa dengan jarak maksimum padat penduduk yaitu 100 meter dan tidak ada halangan sejauh 500 meter. Selain itu data juga berhasil divisualisasikan dalam bentuk degradasi warna pada Node-RED Dashboard yang membuktikan bahwa alat ini berbasis IoT.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. K. Rai, V. P. Singh, and A. Upadhyay, *Planning and Evaluation of Irrigation Projects: Methods and Implementation*. United Kingdom, London: Academic press, Elsevier, 2017.
 [2] M. Rivai, M. Ashari, M. A. Mustaghfirin, and others, "Drip Irrigation System using BLDC Motor-driven Direct Pumping and Soil Moisture Sensor," in *2019 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE)*, 2019, pp. 221–226.

- [3] A. Wijaya, "Monitoring dan Kontrol Sistem Irigasi Berbasis IoT Menggunakan Banana Pi," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [4] C. H. Daniels and C. A. Miles, "Growing Wasabi in the Pacific Northwest," Pullman, Washington: Washington State University Extension, 2019.
- [5] R. Gunawan, T. Andhika, and F. Hibatulloh, "Monitoring system for soil moisture, temperature, pH and automatic watering of tomato plants based on internet of things," *J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 7, no. 1, 2019.
- [6] A. Lavric and V. Popa, "Internet of Things and LoRa™ Low-Power Wide-Area Networks: A Survey," in *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, 2017, pp. 1–5.
- [7] M. Bor, J. E. Vidler, and U. Roedig, "LoRa for the Internet of Things," in *Proceedings of the 2016 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks*, 2016, pp. 361–366.
- [8] R. Radi, B. Purwantana, M. Rivai, A. S. Pratyasta, B. Kuncoro, and M. Murtiningrum, "Performance Analysis of Simple Capacitive Cylinder Sensor for Measuring Soil Moisture Content," in *2019 2nd International Conference on Applied Information Technology and Innovation (ICAITI)*, 2019, pp. 231–235.
- [9] A. Zourmand, A. L. K. Hing, C. W. Hung, and M. AbdulRehman, "Internet of Things (IoT) using Lora Technology," in *2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*, 2019, pp. 324–330.
- [10] I. Amadou, B. Foubert, and N. Mitton, "LoRa in A Haystack: A Study of The LORA Signal Behavior," in *2019 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2019, pp. 1–4.