

Rancang Bangun Lingkungan IoT Sistem Pemantauan dan Otomatisasi Rumah Kaca Melalui Saluran BLE dan WiFi

Vidityar Adith Nugroho, Eko Mulyanto Yuniarno, Dion Hayu Fandiantoro, dan Eko Pramananto
Departemen Teknik Komputer, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ekomulyanto@ee.its.ac.id

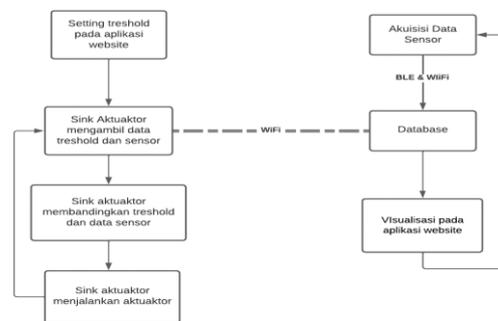
Abstrak—Di era modern revolusi industri 4.0 saat ini, hampir semua teknologi informasi digunakan untuk memudahkan aktivitas manusia. Permasalahan perkebunan saat ini adalah semakin menyempitnya komoditas tanaman yang dapat ditanam akibat cuaca ekstrim dan permasalahan semakin sempitnya lahan akibat pembangunan perumahan dan industri. Untuk mengatasi masalah ini, banyak perangkat dan metode telah dikembangkan untuk pemantauan rumah kaca, dengan tujuan meningkatkan produktivitas tanaman. Sebelumnya telah dikembangkan berbagai sistem rumah kaca, namun pengembangannya masih terbatas pada satu sensor atau satu node dan protokol pengiriman data yang digunakan mayoritas menggunakan protokol HTTP. Oleh karena itu, pada artikel ini dikembangkan sistem monitoring kondisi rumah kaca dengan menyusun beberapa sensor yang kemudian disebut node sensor dan menempatkan node sensor pada titik tertentu. Node sensor kemudian akan mengirimkan datanya ke sink node menggunakan *Bluetooth Low Energy* dengan tujuan menggabungkan data yang dibaca oleh masing-masing node sensor. Kemudian data yang telah digabungkan pada sink node tersebut diteruskan oleh sensor node lain ke broker MQTT menggunakan konektivitas WiFi. Data tersebut kemudian akan disubscribe menggunakan JavaScript untuk diolah dan disimpan dalam *database*. Lalu aplikasi *website* akan menampilkan data pembacaan sensor sesuai dengan yang tersimpan di *database*. Dalam aplikasi *website* terdapat fitur untuk menyesuaikan parameter lingkungan rumah kaca, fitur tersebut disebut *set threshold*. Data dari *threshold* yang telah diatur selanjutnya dikirimkan ke node aktuator. Node aktuator bertugas untuk membandingkan data dari pembacaan sensor dan juga data *threshold* agar dapat menjalankan beberapa aktuator sesuai dengan kebutuhannya.

Kata Kunci—*Internet of Things, Rumah Kaca, Bluetooth Low Energy, WiFi, MQTT.*

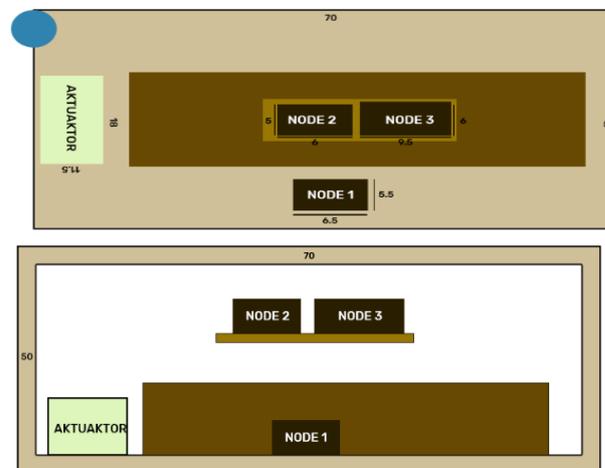
I. PENDAHULUAN

PERTUMBUHAN populasi manusia semakin meningkat bersama dengan evolusi pola konsumsi, peningkatan permintaan, dan limbah makanan. Hal ini memberikan tekanan terhadap sistem perkebunan dan sumber daya alam yang belum pernah terjadi [1]. Oleh karena itu, pasokan makanan adalah salah satu tantangan terbesar yang harus dihadapi umat manusia di abad ini. Ekosistem perkebunan adalah penyedia makanan yang utama. Saat ini, sekitar 275 juta hektar didedikasikan untuk tanaman beririgasi di seluruh dunia. Daerah ini tumbuh tanaman dengan rata-rata per tahun 1,3%. Untuk memenuhi kebutuhan pangan pada tahun 2050, produksi dunia harus meningkat sebesar 70%. Prediksi ini dimulai dengan peningkatan produksi pangan dunia menyiratkan perluasan lahan perkebunan atau intensifikasi produksi pada lahan yang ada saat ini [2].

Rumah kaca merupakan teknologi yang menjadi solusi masalah perkebunan modern saat ini. Masyarakat urban



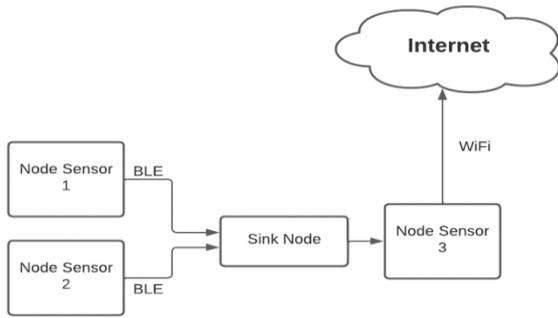
Gambar 1. Desain Sistem Bangun Lingkungan IoT Rumah Kaca.



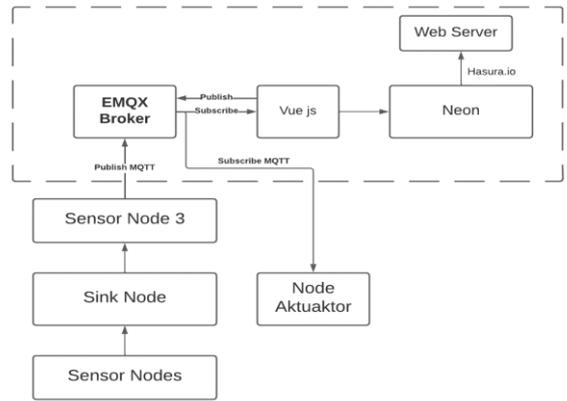
Gambar 2. Layout Mapping Sensor Tampak Atas dan Samping.

membutuhkan hasil tanaman yang dapat dinikmati sepanjang musim. Rumah kaca adalah struktur bangunan yang terdiri dari dinding dan atap yang ditutupi oleh bahan transparan seperti kaca. Struktur ini dapat memberikan kemampuan untuk mengontrol parameter dan kondisi perkebunan yang berbeda atau menyesuaikan dengan tanaman yang akan ditanam, sehingga peningkatan pertumbuhan tanaman dapat dicapai [3].

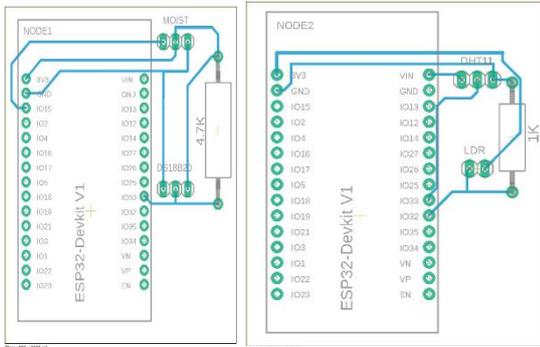
Perkembangan teknologi rumah kaca terus berkembang, dimulai dengan menyebarkan sebuah sensor pada setiap jarak tertentu untuk mengukur kondisi tanaman, kemudian berkembang dengan menyebarkan node sensor yang berbeda yang bertindak sebagai pengganti manusia dan bisa mendapatkan hasil pengukuran yang lebih presisi karena menggunakan berbagai sensor yang menghasilkan beberapa parameter kondisi lingkungan pada tanaman. Kemudian perkembangan selanjutnya dengan menggunakan node sensor dapat menghasilkan pengukuran yang lebih presisi dengan frekuensi sampling yang diinginkan dan diperbarui



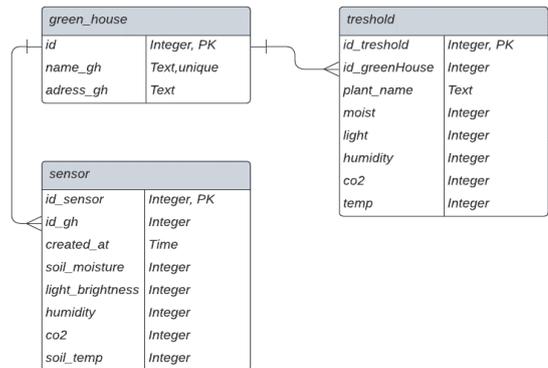
Gambar 6. Desain Sistem Alat.



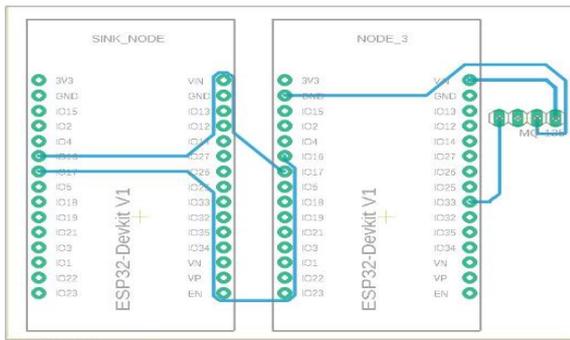
Gambar 3. Arsitektur Komunikasi Data.



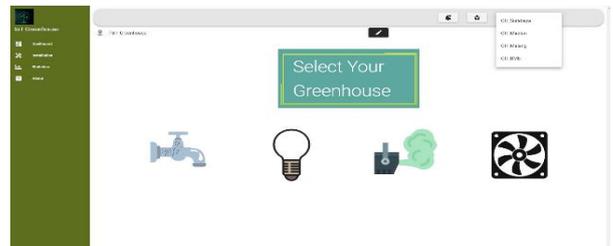
Gambar 7. Desain Rangkaian Node Sensor 1 dan Node Sensor 2.



Gambar 4. Desain Database Rumah Kaca.



Gambar 8. Desain Rangkaian Node Sensor 3 dan Sink Node.



Gambar 5. Home Page Rumah Kaca dan Fitur Pilih Rumah Kaca.

secara *realtime*[4]. Perkembangan dalam rumah kaca selanjutnya dengan menggunakan konsep *Internet of Things*, teknologi rumah kaca tidak hanya terbatas pada pemantauan dan pelaporan setiap perubahan data dalam parameter dan kondisi lingkungan tetapi juga memungkinkan kendali jarak jauh dari berbagai kondisi di dalam rumah kaca [5].

Pada penelitian tugas akhir ini dibuat sebuah aplikasi *website* untuk memonitoring dan mengatur suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah dan kecerahan cahaya pada rumah kaca untuk menjaga dan mengatur kondisi kelembapan dan suhu bagi tanaman agar tanaman yang terdapat di dalamnya memiliki suhu konstan sesuai dengan yang dibutuhkan, serta mempermudah dalam mengontrol suhu dan kelembapan. Aplikasi *website* ini bekerja dengan cara menginputkan suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah dan kecerahan cahaya dari website melalui protokol pengiriman data MQTT dan diterima oleh mikrokontroler ESP32 yang akan disesuaikan dengan pembacaan sensor suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah dan kecerahan cahaya. Serta dapat juga memonitoring pembacaan sensor yang dikirimkan dari ESP32 melalui *wireless module* dan menggunakan protokol MQTT ke aplikasi *website*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Desain Sistem

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan desain sistem, peralatan dan perangkat berikut dengan implementasinya. Desain sistem merupakan konsep dari pembuatan dan perancangan infrastruktur kemudian diwujudkan dalam bentuk blok-blok alur yang harus dikerjakan. Implementasi merupakan pelaksanaan teknis untuk setiap blok pada desain sistem.

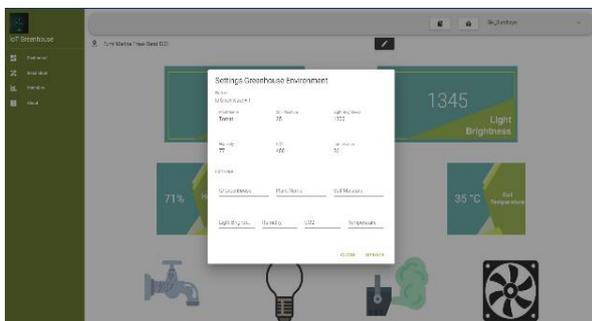
Pada Gambar 1 terdapat alur pengerjaan sistem secara keseluruhan. Berdasarkan kebutuhan dan proses yang dikerjakan, maka alur pengerjaan ini dibagi ke dalam 2 sistem, yaitu visualisasi dan otomatisasi.

B. Akuisisi Data Sensor

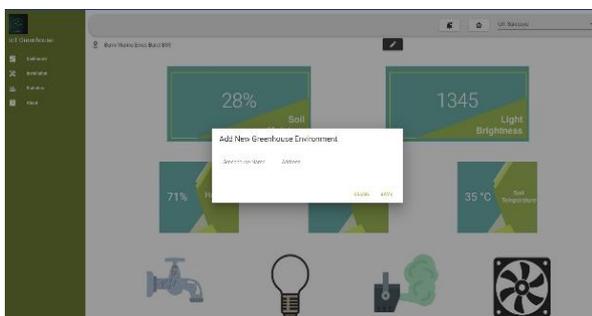
Akuisisi data merupakan suatu sistem yang diperlukan dalam sistem instrumentasi di berbagai kegiatan industri untuk mengambil, menampilkan, atau mengolah data dari sensor yang terdapat dalam komponen sistem instrumentasi. Seiring dengan perkembangan teknologi, diperlukan suatu



Gambar 9. Halaman Dashboard.



Gambar 10. Fitur Set Treshold.



Gambar 11. Fitur Pilih Rumah Kaca.

sistem akuisisi data yang dapat digunakan secara *realtime*, cepat, mudah dan akurat [7].

Sebelum mengambil data dari sensor, perlu diketahui ukuran dan kondisi prototype rumah kaca yang akan digunakan. Dengan mengetahui keadaan sekitar maka juga dapat mengetahui apa saja yang dibutuhkan dan alat apa saja yang dapat digunakan. Dan dalam penelitian ini akuisisi data sensor memuat beberapa bagian yaitu mapping sensor, desain sistem alat, node sensor, sink node, node aktuaktor dan pengiriman data.

C. Mapping Sensor

Pemetaan atau mapping dilakukan dengan tujuan untuk memudahkan penelitian. Dalam hal ini diperlukan tata letak rumah kaca yang akan digunakan sebagai objek pemetaan. Sehingga dapat terbentuk layout pemetaan rumah kaca yang dapat dilihat untuk node 1 diletakkan disamping atau sejajar dengan pot agar menyesuaikan dengan data yang diambil node 1 yaitu data kelembapan tanah dan suhu didekat tanaman, sedangkan node 2 dan node 3 diletakkan di atas rumah kaca. kemudian dijadikan objek penelitian seperti pada Gambar 2.

D. Desain Sistem Alat

Sistem yang digunakan alat ini merupakan sebuah implementasi dari IoT. Secara garis besar terdapat 2 bagian utama pada arsitektur sistem alat ini yaitu akuisisi data oleh

Tabel 1.
Data Kalibrasi Sensor *Capacitive Soil Moisture*

No	Kondisi Kering	Kondisi Lembab	Kondisi Basah
1	0	17	72
2	0	21	90
3	0	26	98
4	1	23	99
5	0	23	99
6	0	23	99
7	0	23	99
8	1	23	99
9	1	23	99
10	1	23	99
11	1	23	99
12	1	23	98
13	1	23	99
14	1	25	99
15	0	23	99
16	1	23	99
17	1	23	99
18	1	23	99
19	2	23	99
20	1	23	99
21	1	23	99
22	1	23	99
23	1	23	99
24	1	23	99

Tabel 4.
Data Sensor MQ-135

No	Nilai	No	Nilai
1	414	13	414
2	382	14	403
3	382	15	426
4	403	16	403
5	372	17	437
6	382	18	437
7	437	19	437
8	437	20	484
9	372	21	426
10	426	22	437
11	437	23	361
12	437	24	372

node sensor dan pengiriman data. Akuisisi data akan dilakukan oleh masing-masing node sensor dan kemudian data yang telah diakuisisi akan dikirimkan sesuai dengan desain sistem alat yang tertera di Gambar 3

Pada desain sistem alat seperti yang tertampil di Gambar 3 dapat dilihat perlu adanya komunikasi serial dari sink node ke node sensor 3, hal ini disebabkan karena keterbatasan ESP32 yang digunakan yaitu storage atau memori yang digunakan kurang besar untuk menyimpan program koneksi ke BLE dan WiFi sekaligus. Sehingga diperlukan perangkat lain yang memiliki konektivitas WiFi secara terpisah.

E. Node Sensor

Node sensor yaitu node yang berfungsi untuk membaca data lingkungan atau objek yang dipantau. Untuk keperluan pembacaan atau penginderaan, node ini dilengkapi dengan satu atau beberapa perangkat sensor. Pada penelitian ini menggunakan node dengan kemampuan yang bisa membaca beberapa perangkat sensor dan memiliki konektivitas, sehingga bisa terhubung dengan perangkat lain. Konektivitas yang digunakan pada node sensor penelitian tugas akhir ini adalah BLE atau WiFi.

Gambar 4 merupakan desain rangkaian node sensor 1 dan node sensor 2 yang dikerjakan pada aplikasi *eagle*. Pada node sensor 1 terdapat sensor *capacitive soil moisture* dan DS18B20. Kedua sensor tersebut digabungkan menjadi satu node sensor karena posisi kedua sensor tersebut sama-sama

Tabel 2.
Data Sensor DS18B20

No	Sensor (dingin)	HTC-2 (Dingin)	Sensor (Normal)	HTC-2 (Normal)
1	32	31.3	30	32.6
2	31	31.3	31	32.6
3	26	25.1	31	32.6
4	25	24.6	32	32.5
5	24	24.6	32	32.5
6	24	24.6	32	32.5
7	24	24.6	32	32.5
8	24	24.6	32	32.5
9	24	24.6	32	32.5
10	24	24.6	32	32.5
11	24	24.6	32	32.5
12	24	24.6	32	32.5
13	24	24.6	32	32.5
14	24	24.6	32	32.5
15	24	24.6	32	32.5
16	24	24.6	32	32.5
17	24	24.6	32	32.5
18	24	24.6	32	32.4
19	24	24.6	32	32.4
20	24	24.6	32	32.4
21	24	24.6	32	32.4
22	24	24.6	32	32.4
23	24	24.6	32	32.4
24	24	24.6	32	32.4

Tabel 3.
Data Sensor DHT11

No	Sensor	Hygrometer	No	Sensor	Hygrometer
1	53	60	13	68	64
2	53	60	14	68	65
3	53	60	15	68	65
4	53	60	16	67	65
5	53	60	17	66	65
6	53	60	18	66	66
7	53	60	19	65	66
8	53	60	20	64	66
9	61	61	21	63	66
10	67	61	22	63	67
11	68	61	23	62	67
12	69	62	24	62	67

diletakkan berdekatan dengan tanaman dan dapat tahan air ketika tanaman disiram nantinya. Sensor capacitive soil moisture menggunakan pin analog sedangkan DS18B20 menggunakan *one wire* atau pin digital, sehingga dapat memanfaatkan banyak pin ESP32 untuk penambahan kedua sensor tersebut.

Sedangkan pada node sensor 2 terdapat sensor ldr dan DHT11. Kedua sensor tersebut digabungkan menjadi satu node sensor karena posisi kedua sensor tersebut sama-sama diletakkan berjauhan dengan tanaman dan sebaiknya diletakkan ditempat yang tinggi agar pembacaan lebih akurat. Sensor ldr menggunakan pin analog sedangkan DHT11 menggunakan *one wire* atau pin digital, sehingga dapat memanfaatkan banyak pin ESP32 untuk penambahan kedua sensor tersebut.

Gambar 5 merupakan desain rangkaian node sensor 3 dan sink node yang dikerjakan pada aplikasi *eagle*. Pada node sensor 3 terdapat sensor MQ-135. Sensor MQ-135 menggunakan pin analog dalam mengambil data dan node 3 akan mengirimkan data ke broker MQTT melalui WiFi, sehingga pin analog yang digunakan tidak boleh ADC Channel 2. Pada node sensor 3 terdapat sink node yang terhubung secara serial dan akan mengambil data dari node 1 dan node 2 melalui BLE.

F. Sink Node

Sink Node yaitu node yang berfungsi untuk mengumpulkan data penginderaan dari Sensor Node, kemudian meneruskannya ke perangkat atau sistem lain, seperti ke database server untuk penyimpanan. Selain untuk mengumpulkan data dari sensor node, sink node juga berfungsi sebagai penyebar paket dari perangkat atau sistem lain ke WSN, misalnya untuk keperluan pemrograman atau konfigurasi ulang sensor node secara remote. Pada penelitian ini sink node menjadi jalur yang menerima data dari node sensor 1 dan node sensor 2 melalui saluran BLE dan akan mengirimkan data-data tersebut ke node sensor 3 secara serial. Pengiriman data secara serial ke node sensor 3 ini diperlukan sebab memori yang bisa disimpan pada mikrokontroler esp32 terbatas dan tidak bisa memasukkan program untuk menghubungkan mikrokontroler dengan WiFi. kemudian data yang diminta oleh sink node memiliki delay sebesar 10 detik. Pada tahapan ini dilakukan pengiriman melalui komunikasi BLE karena kelebihan BLE adalah hemat daya dengan memanfaatkan mode sleep yang dimilikinya dan hanya mengirim data setiap diminta.

G. Node Aktuator

Node Aktuator merupakan node yang berfungsi untuk

Tabel 5.
Data Sensor LDR

No	Kondisi 1		Kondisi 2		Kondisi 3		Kondisi 4	
	Sensor	Luxmeter	Sensor	Luxmeter	Sensor	Luxmeter	Sensor	Luxmeter
1	48	30	231	185	738	666	1705	1587
2	49	31	228	194	646	667	1690	1586
3	50	30	226	194	731	666	1695	1586
4	59	31	225	195	751	667	1685	1585
5	53	30	223	194	636	667	1687	1584
6	51	30	224	194	738	666	1674	1583
7	52	30	225	194	726	666	1685	1582
8	50	30	223	185	632	667	1680	1581
9	52	30	224	194	717	667	1685	1581
10	53	31	224	193	731	666	1692	1580
11	50	30	185	194	630	665	1677	1580
12	51	30	226	195	728	665	1662	1580
13	53	30	223	195	747	666	1674	1576
14	22	30	187	194	739	664	1667	1574
15	52	30	224	194	734	665	1669	1571
16	40	31	224	194	730	665	1657	1564
17	52	30	190	194	617	664	1667	1562
18	28	30	222	194	732	664	1659	1560
19	53	32	220	195	739	663	1662	1559
20	50	32	190	195	744	663	1659	1558
21	27	30	225	194	738	664	1659	1557
22	53	31	223	194	723	663	1662	1556
23	53	31	220	195	730	661	1654	1555
24	29	30	190	194	735	662	1652	1554

Tabel 6.
Delay Pengiriman Data BLE

No	Node Sensor 1	Node Sensor 2	Sink Node	Delay BLE (detik)
1	12:59:29.741	12:59:24.126	12:59:30.466	0.726
2	12:59:40.265	12:59:34.121	12:59:40.500	0.235
3	12:59:50.771	12:59:44.180	12:59:51.495	0.724
4	13:00:01.282	12:59:54.198	13:00:01.501	0.219
5	13:00:11.821	13:00:04.227	13:00:12.482	0.661
6	13:00:22.328	13:00:14.263	13:00:22.499	0.171
7	13:00:32.840	13:00:24.270	13:00:33.486	0.646
8	13:00:43.330	13:00:34.273	13:00:43.502	0.172
9	13:00:53.882	13:00:54.351	13:00:54.462	0.111
10	13:01:04.391	13:01:04.390	13:01:04.484	0.093
11	13:01:14.919	13:01:14.409	13:01:15.489	0.57
12	13:01:25.427	13:01:24.396	13:01:25.458	0.031
13	13:01:35.914	13:01:34.418	13:01:36.484	0.57
14	13:01:46.436	13:01:44.449	13:01:46.481	0.045
15	13:01:56.943	13:01:54.507	13:01:57.496	0.553
16	13:02:07.499	13:02:04.496	13:02:08.496	0.997
17	13:02:18.009	13:02:14.551	13:02:18.485	0.476
18	13:02:28.528	13:02:24.564	13:02:29.498	0.97
19	13:02:39.017	13:02:34.591	13:02:39.477	0.46
20	13:02:49.571	13:02:44.602	13:02:50.473	0.902
21	13:03:00.078	13:02:54.646	13:03:00.473	0.395
22	13:03:10.590	13:03:04.649	13:03:11.491	0.901
23	13:03:21.118	13:03:14.704	13:03:21.484	0.366
24	13:03:31.622	13:03:24.713	13:03:32.491	0.869

menjalankan aktuator sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan tanaman yang akan ditanam. Pada node aktuator ada program untuk menjalankan aktuator dengan cara pengecekan ketika node sensor 3 mendapatkan data sensor kemudian mengirimkan datanya dengan protokol MQTT melalui WiFi dan threshold yang sudah di setting dari aplikasi *website* juga dikirimkan melalui MQTT. Kemudian node aktuator ini akan bertugas melakukan *subscribe* MQTT data dari kedua topik tersebut dan mengolah data tersebut untuk mengetahui kondisi jika saat data sensor kurang dari threshold atau data sensor lebih dari threshold maka akan mengaktifkan aktuator tertentu. Aktuator yang digunakan pada penelitian ini terdapat aktuator pompa air, aktuator lampu UV, aktuator *Ultrasonic Mist Maker* dan aktuator kipas.

H. Pengiriman Data Menggunakan Protokol MQTT

Pada tahapan ini data dikirimkan dari sensor node 3 dengan komunikasi WiFi ke broker MQTT. Penggunaan protokol MQTT dilakukan agar data yang dikirimkan lebih ringan dibandingkan menggunakan protokol HTTP, sehingga bisa lebih hemat daya dan *realtime*. Broker yang digunakan pada penelitian adalah EMQX Broker dan JavaScript yang digunakan adalah Vue JS untuk *subscribe* MQTT dan membuat interaksi antara halaman web dan pengunjung *website*. Dengan Database yang digunakan adalah Neon salah satu *cloud platform* untuk menyimpan *database SQL* dan menggunakan *hasura.io* untuk menghubungkan database Neon dengan web server.

Tabel 7.
Delay Pengiriman Data Serial dan MQTT

No	Sink Node	Node Sensor 3	Delay Serial	Database	Delay MQTT
1	12:59:30.466	12:59:31.387	0.921	12:59:31.731	0.344
2	12:59:40.500	12:59:41.363	0.863	12:59:41.769	0.406
3	12:59:51.495	12:59:52.398	0.903	12:59:52.854	0.456
4	13:00:01.501	13:00:02.395	0.894	13:00:02.748	0.353
5	13:00:12.482	13:00:13.404	0.922	13:00:14.303	0.899
6	13:00:22.499	13:00:23.407	0.908	13:00:23.827	0.42
7	13:00:33.486	13:00:34.413	0.927	13:00:34.738	0.325
8	13:00:43.502	13:00:44.416	0.914	13:00:44.857	0.441
9	13:00:54.462	13:00:55.426	0.964	13:00:55.870	0.444
10	13:01:04.484	13:01:05.418	0.934	13:01:05.752	0.334
11	13:01:15.489	13:01:16.413	0.924	13:01:16.824	0.411
12	13:01:25.458	13:01:26.415	0.957	13:01:26.859	0.444
13	13:01:36.484	13:01:37.436	0.952	13:01:37.759	0.323
14	13:01:46.481	13:01:47.452	0.971	13:01:47.840	0.388
15	13:01:57.496	13:01:58.433	0.937	13:01:58.814	0.381
16	13:02:08.496	13:02:09.431	0.935	13:02:10.283	0.852
17	13:02:18.485	13:02:19.419	0.934	13:02:19.827	0.408
18	13:02:29.498	13:02:30.453	0.955	13:02:30.875	0.422
19	13:02:39.477	13:02:40.444	0.967	13:02:40.753	0.309
20	13:02:50.473	13:02:51.461	0.988	13:02:51.880	0.419
21	13:03:00.473	13:03:01.466	0.993	13:03:01.842	0.376
22	13:03:11.491	13:03:12.477	0.986	13:03:12.778	0.301
23	13:03:21.484	13:03:22.471	0.987	13:03:22.786	0.315
24	13:03:32.491	13:03:33.475	0.984	13:03:33.779	0.304

Tabel 8.
Pengukuran Daya

Device	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Keterangan
Node 1	5.02	0.07	0.3514	Sleep Mode
	5.02	0.12	0.6024	Active Mode
Node 2	5.02	0.07	0.3514	Sleep Mode
	5.02	0.12	0.6024	Active Mode
Sink Node	5.01	0.04	0.2004	Sleep Mode
	5.01	0.07	0.3507	Active Mode
Node 3	5.01	0.16	0.8016	Active Mode

I. Database

Database berfungsi sebagai tempat penyimpanan data rumah kaca, data hasil pembacaan sensor dan data threshold. Pada penyimpanan data rumah kaca yang disebut dengan tabel 'green_house' terdapat data nama rumah kaca dan alamat rumah kaca, serta id rumah kaca yang nantinya akan diatur pada program Arduino agar dapat mengirimkan data pada id rumah kaca yang sesuai. Sedangkan untuk tabel 'sensor' dan 'treshold' terdapat data pembacaan dan pengaturan kelima sensor yang digunakan dan untuk tabel 'sensor' terdapat timestamp untuk mengetahui waktu data masuk kedalam database. Untuk relasi pada tabel dapat dilihat pada Gambar 7.

J. Visualisasi Data

Data divisualisasikan pada platform aplikasi *website* yang dapat menampilkan data node sensor secara *realtime*, sehingga mempermudah monitoring keadaan rumah kaca. Secara umum, sub-bab pada aplikasi *website* ini berfungsi untuk menampilkan data yang telah dikirimkan node sensor 3 sehingga dapat dilihat sebagai hasil monitoring pada *user interface* rumah kaca dan terdapat penyimpanan data ke dalam database. Selain itu terdapat fitur yang dapat mengatur *threshold* lingkungan rumah kaca yang dapat diatur ulang dan dikirimkan datanya ke sink aktuator agar bisa mengetahui apakah aktuator harus menyala atau mati. Arsitektur komunikasi data dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada Gambar 8 terdapat informasi bahwa *user* harus memilih rumah kaca yang ingin dimonitoring terlebih dahulu,

kemudian terdapat juga fitur pilih rumah kaca di sebelah kanan atas gambar agar dapat menampilkan rumah kaca yang telah dibuat dan memilihnya agar ditampilkan data pembacaan sensornya. Pada Gambar 9 terdapat gambar dari halaman dashboard yang menampilkan kondisi terkini dari kondisi lingkungan rumah kaca. Disebelah kiri atas terdapat alamat rumah kaca dan disebelah kanan atas terdapat tombol pensil yang berfungsi untuk mengubah treshold. Pada Gambar 10 terdapat tampilan dari set threshold yang dapat menampilkan threshold sebelumnya dan terdapat form untuk update threshold tersebut. Pada Gambar 11 terdapat tampilan untuk menambah rumah kaca baru ke dalam sistem dan *user* harus menginputkan nama rumah kaca yang berbeda dari yang sudah ada dan alamatnya.

III. HASIL DAN DISKUSI

Pada penelitian ini dipaparkan hasil pengujian serta analisis dari desain sistem dan implementasi. Pengujian dilakukan agar mengetahui keberhasilan sistem yang dibuat sehingga dapat ditarik kesimpulan terhadap penelitian tugas akhir ini. Pengujian pada penelitian ini dibagi menjadi empat bagian antara lain:

1. Pengujian sensor
2. Pengujian komunikasi
3. Pengujian aktuaktor
4. Pengujian website

A. Pengujian Sensor

Pada pengujian sensor yang dilakukan adalah pengambilan

data atau nilai dari lingkungan rumah kaca dan tanaman tomat yang telah diatur berdasarkan kondisi sesungguhnya. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan sensor saat melakukan pembacaan dan untuk perhitungan kalibrasi.

1) Pengujian Sensor Capacitive Soil Moisture.

Tanah memiliki konduktivitas yang berbeda-beda. Dalam hal ini yang mempengaruhi konduktivitas tanah adalah jenis tanah, banyak pupuk, kedalaman tanah, dan faktor lainnya. Konduktivitas tanah ini dapat menghasilkan perhitungan nilai ADC atau analog yang berbeda sehingga harus dikalibrasi dengan beberapa langkah pengambilan data. Pengujian dilakukan dua kali dengan pengujian pertama menghasilkan nilai analog terkecil dari kondisi kering dan kondisi basah dan pengujian kedua dengan menggunakan data yang sudah didapatkan dari pengujian pertama yaitu nilai analog sebesar 3183 diambil dari nilai terkecil kondisi kering dan 1456 diambil dari nilai terkecil kondisi tanah basah akan dibuat rumus kalibrasinya dengan menggunakan fungsi map pada arduino dan diuji ulang.

Pengujian dilakukan dengan kondisi tanah yang berbeda dan disesuaikan dengan kebutuhan. Kondisi kering adalah kondisi tanah ketika tidak disiram air selama 7 hari, kondisi lembab adalah kondisi tanah ketika tidak disiram selama 1 hari dan kondisi basah adalah kondisi tanah ketika baru saja disiram air. Pengujian ini dilakukan selama dua menit dengan selisih pembacaan antar nilai adalah lima detik. Hasil dari percobaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Sesuai hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 1 didapatkan hasil pengukuran sensor *capacitive soil moisture* dengan satuan pengukuran yaitu %Rh.

2) Pengujian Sensor DS18B20

Pada pengujian ini, yang dilakukan adalah pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20 dan alat ukur HTC-2 Thermohygrometer. Pengukuran dilakukan dengan kondisi suhu yang berbeda. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan air karena sensor dan alat ukur memiliki probe yang bisa tahan air. Kondisi air yang digunakan berbeda-beda dan disesuaikan dengan kebutuhan. Kondisi pertama adalah air normal suhu ruangan kemudian kondisi kedua adalah air yang sudah didinginkan. Sensor dimasukkan ke dalam wadah yang sama dengan alat ukur dengan tujuan untuk membuktikan bahwa yang diukur adalah suhu pada air yang sama. Sensor yang digunakan merupakan sensor dengan pin digital yang digunakan sebagai input dan outpunya sehingga nilai yang dikeluarkan sudah sesuai dan tidak jauh berbeda dengan alat ukurnya. Pengujian ini dilakukan selama empat menit setelah terlihat adanya perubahan dengan selisih pembacaan antar nilai adalah sepuluh detik. Hasil dari percobaan tersebut dalam satuan derajat celsius dan dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa pembacaan sensor dan alat ukur tidak jauh berbeda dengan *error* pengukuran sebesar 1.880%.

3) Pengujian Sensor DHT11

Pada pengujian ini, yang dilakukan adalah pengukuran kelembapan ruangan oleh sensor DHT11 dan alat ukur HTC-2 Thermohygrometer. Pengujian dilakukan pada kamar 3x5 ber-AC sebelum diuji di prototype rumah kaca, dengan sensor dan alat ukur diletakkan ditengah ruangan. Pengujian ini dilakukan dengan dua kondisi yang berbeda. Kondisi pertama

adalah kondisi normal dengan suhu 27° C, kondisi kedua adalah menyemprotkan air di atas sensor maupun alat ukur dan kemudian ditunggu dan diamati perubahan kelembapannya. Pengujian ini dilakukan selama empat menit setelah terlihat adanya perubahan dengan selisih pembacaan antar nilai adalah sepuluh detik. Hasil percobaan dapat dilihat di Tabel 3. Dari Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa pembacaan sensor dan alat ukur memiliki *error* pengukuran sebesar 2.942%.

4) Pengujian Sensor MQ-135

Pada sebuah ekosistem tanaman, ketersediaan CO2 sangat penting bagi perkembangan dan kualitas tanaman. Untuk mengetahui kadar CO2 pada lingkungan rumah kaca, dapat menggunakan sensor MQ-135. Namun sebelum menggunakannya perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan mencari nilai Ro atau nilai udara bersih yang terbaca. Jadi pengujian ini dilakukan dengan 2 tahap. Yang pertama adalah pengujian untuk mencari nilai Ro dan didapatkan hasil pengujian nilai Ro sebesar 115067. Kemudian pengujian selanjutnya dilakukan dengan meletakkan sensor MQ-135 di dekat prototipe rumah kaca agar mendapatkan nilai CO2 yang sesuai dengan tempat prototipe tersebut berada. Hasil dari percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.

Sesuai hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4 didapatkan hasil pengukuran sensor MQ-135 dengan satuan pengukuran yaitu PPM.

5) Pengujian Sensor LDR

Pada sebuah ekosistem tanaman, ketersediaan cahaya khususnya sinar UV sangat penting bagi perkembangan dan kualitas tanaman. Untuk mengetahui tingkat kecerahan cahaya pada lingkungan rumah kaca, dapat menggunakan sensor LDR. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sensor LDR dan alat ukur aplikasi lux meter yang terinstall di mobile device. Pengujian dilakukan dengan meletakkan sensor LDR dan alat ukur secara berdekatan dan mengukur 4 kondisi kecerahan. Kondisi kecerahan ini dapat diatur dengan menggunakan lampu belajar yang memiliki tiga tingkat kecerahan. Lampu tersebut diletakkan didekat sensor dan alat ukur, sehingga cahaya yang dihasilkan akan lebih cerah. Kecerahan pertama adalah kecerahan normal, yaitu kecerahan dalam sebuah ruangan dengan penerangan lampu LED 10 watt. Kecerahan selanjutnya menggunakan lampu belajar dan di atur pada kecerahan pertama, begitu seterusnya sampai kecerahan ketiga. Kemudian setelah didapatkan nilai analognya, data akan diolah dan didapatkan persamaan dengan menggunakan fitur grafik scatter dari ms. Excel. Persamaan yang didapatkan adalah

$$y = 3E - 07x^3 - 0.0007x^2 + 0.7997x - 259.37 \quad (1)$$

Pengujian akan dilakukan dengan memasukkan persamaan tersebut dengan nilai 'y' adalah output dalam satuan lux dan 'x' adalah input data analog. Pengujian ini dilakukan selama dua menit dengan selisih pembacaan antar nilai adalah lima detik. Didapatkan hasil yang tertampil pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa pembacaan sensor dan alat ukur memiliki perbedaan pembacaan dengan *error* pengukuran sebesar 21.91008301%.

B. Pengujian Komunikasi

Pada pengujian komunikasi yang dilakukan adalah

pengujian pengiriman data melalui saluran BLE dari node 1 dan node 2 ke sink node, kemudian komunikasi serial antara sink node dengan node 3 dan juga node 3 melalui saluran WiFi ke broker MQTT. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan komunikasi antar node, yaitu jarak, delay pengiriman dan daya. Jarak komunikasi BLE lebih dekat dibandingkan dengan jarak komunikasi WiFi, sehingga dilakukan pengukuran jarak agar mengetahui jarak terjauh kedua node sensor bisa saling berkomunikasi dan konsep IoT memerlukan data yang dapat ter-*update* secara *realtime* sehingga delay antar pengiriman datanya sebisa mungkin kecil.

1) Pengujian Jarak BLE

Telah dilakukan jarak pendeteksian antara node sensor 1, node sensor 2 dan sink node dengan tujuan agar mengetahui ukuran rumah kaca yang bisa mengimplementasikan sistem rumah kaca ini. Pengujian ini dilakukan dengan cara meletakkan sink node di tempat terbuka tanpa adanya halangan seperti tembok. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali dengan hasil pengukuran pertama mendapatkan jarak sejauh 11.15 meter, pengukuran kedua mendapatkan jarak sejauh 9.65 meter dan ketiga sejauh 12.1 meter. Namun ketika dihadapkan dengan rumah kaca sesungguhnya pasti ada beberapa halangan seperti media tanaman pot, papan atau hal lain yang dapat mempengaruhi cutoff rssi, sehingga direkomendasikan menggunakan jarak paling dekat yaitu 9.5 meter.

2) Pengujian Delay Pengiriman Data

Pada pengujian delay pengiriman data, data yang diambil merupakan waktu timestamp yang telah ada di serial monitor arduino IDE dan untuk delay pengiriman data melalui protokol MQTT dapat dilihat pada timestamp di database SQL. Pengambilan data dilakukan sebanyak 24 kali. Didapatkan hasil delay pengiriman data melalui BLE yang tertampil pada Tabel 6.

Dari data yang sudah diambil didapatkan hasil rata-rata delay pengiriman data BLE dari node sensor 1 dan node sensor 2 ke sink node sebesar 0.494291667 detik.

Kemudian terdapat pengujian untuk delay pengiriman data melalui komunikasi serial dan delay pengiriman data dengan protokol MQTT melalui WiFi. Didapatkan hasil delay pengiriman yang tertampil pada Tabel 7.

Delay serial diambil dari selisih waktu antara sink node dan node sensor 3. Dari data yang sudah diambil didapatkan hasil rata-rata delay pengiriman data serial dari sink node dan node sensor 3 sebesar 0.9425 detik. Sedangkan delay MQTT diambil dari selisih waktu antara node sensor 3 mengirimkan data dan data bertambah pada database. Untuk pemeriksaan waktu data masuk pada database, terdapat kolom 'created at' sehingga data waktu diambil dari kolom tersebut. Dari data yang sudah diambil didapatkan hasil rata-rata delay pengiriman data MQTT dari node sensor 3 dan database sebesar 0.419791667 detik.

3) Pengujian Daya

Pengujian daya dilakukan agar mengetahui daya yang dibutuhkan tiap alat dan membuktikan bahwa penggunaan BLE pada sistem rumah kaca akan menghemat daya dibandingkan dengan penggunaan WiFi pada seluruh alat. Pengujian ini dilakukan dengan alat bantu USB Multimeter

yang dapat menampilkan tegangan dan arus yang dibutuhkan alat. Didapatkan hasil daya yang dibutuhkan tiap alat yang tertampil pada Tabel 8. Dari Tabel 8 dapat dilihat untuk daya dari node 1, node 2, dan sink node terdapat 2 arus yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh kemampuan BLE untuk memasuki mode *sleep* ketika tidak sedang mengirimkan data. Sedangkan node 3 yang menggunakan konektivitas WiFi tidak dapat memasuki mode *sleep* ketika tidak sedang mengirimkan data dan daya yang dibutuhkan lebih besar dibandingkan dengan komunikasi BLE.

C. Pengujian Aktuator

Pada bagian ini, dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah aktuator sudah berjalan dengan baik dari segi pengambilan data dari sensor node dan data dari threshold. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian sistem keseluruhan. Pengujian sistem dilakukan setelah data sensor node berhasil dikirimkan dan aplikasi *website* juga dapat mengirimkan data threshold. Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang dijalankan sink aktuator dapat mengambil dan melakukan beberapa kasus untuk menyesuaikan lingkungan rumah kaca atau tidak.

D. Pengujian Website

Pada bagian ini, dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah aplikasi website sudah berjalan dengan baik dari segi pengambilan data, visualisasi dan pengiriman datanya. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian sistem website secara keseluruhan. Pengujian sistem dilakukan sebelum aplikasi website digunakan oleh pengguna. Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat sudah berjalan dengan baik atau belum dan apakah bisa berfungsi di device yang berbeda.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:(a)Mengimplementasikan perangkat pemantau kondisi lingkungan rumah kaca menggunakan sensor LDR, *Capacitive Soil Moisture*, DHT11, MQ-135 dan Sensor DS18B20 berbasis IoT;(b)Dari hasil proses kalibrasi sensor DS18B20 didapatkan persentase *error* sebesar 1.880% dengan alat ukur HTC-2 Thermohyrometer;(c)Dari hasil proses kalibrasi sensor DHT11 didapatkan persentase *error* sebesar 2.94% dengan alat ukur HTC-2 Thermohyrometer;(d)Menggunakan konektivitas *Bluetooth Low Energy* sebagai IoT Network Protokol antara node sensor dan sink node dengan delay pengiriman rata-rata sebesar 0.494291667 detik;(e)Visualisasi data pada aplikasi website memiliki rata-rata delay 0.419791667 detik dengan menggunakan protokol pengiriman data MQTT dan konektivitas WiFi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. A. Foley et al., "Solutions for a cultivated planet," *Nature*, vol. 478, no. 7369, pp. 337–342, 2011, doi: 10.1038/nature10452.
- [2] J. A. Aznar-Sanchez, J. F. Velasco-Munoz, B. Lopez-Felices, and I. M. Roman-Sánchez, "An analysis of global research trends on greenhouse technology: towards a sustainable agriculture," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, no. 2, pp. 1–22, Jan. 2020, doi: 10.3390/ijerph17020664.

- [3] Diana Rahmawati, Miftachul Ulum, and Heri Setiawan, "Pengujian monitoring on-line Rumah kaca cerdas berbasis android," *Cyclotron*, vol. 2, no. 1, pp. 31–36, 2019.
- [4] H. Ibrahim et al., "A layered IoT architecture for greenhouse monitoring and remote control," *SN Appl Sci*, vol. 1, no. 3, pp. 1–12, Mar. 2019, doi: 10.1007/s42452-019-0227-8.
- [5] M. Munir, "Rancangan Smart Greenhouse dengan Teknologi Mobile untuk Efisiensi Tenaga , Waktu dan Biaya dalam Pengelolaan Tanaman," Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Surabaya, 2010.