

Greenhouse Monitoring System using ESP32, Raspberry Pi, MQTT and Node-RED

Sistem Pemantauan Rumah Kaca berbasis ESP32, Raspberry Pi, MQTT dan Node-RED

Christian Fredy Naa

Dept. of Electrical Engineering, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia

e-mail: christian.fredy@unpar.ac.id

Received: 15 November 2022; revised: 20 November; accepted: 10 December 2022

Abstract — Greenhouse is a place to grow plants where the micro climate is controlled to achieve the best possible climate to grow plants. The micro climate involve three different states namely the state of the outside and inside air of the greenhouse and the state of the soil where the plants grow. The focus of this research is to design monitoring system which able to monitor those three states. The system is built based on four temperature and humidity sensors, two microcontroller ESP32, communication protocol MQTT and Node-RED. The sensors have been carefully selected in order to obtain particular measurements. The system has been tested for one day. The system is able to show the measurement data and record it in .csv format. The system is able to picture qualitatively the dynamics of weather and watering inside and outside of the greenhouse

Key words— greenhouse, monitoring, MQTT, Node-RED

Abstrak — Rumah kaca merupakan tempat menanam tanaman yang bertujuan merekayasa iklim mikro agar tanaman dapat berkembang dengan baik. Rekayasa iklim mikro tersebut setidaknya melibatkan tiga keadaan utama yakni keadaan udara di dalam dan luar rumah kaca serta keadaan tanah di mana tanaman tumbuh. Penelitian ini merancang dan membangun sistem pemantauan tiga keadaan tersebut. Sistem yang dibangun terdiri dari empat buah sensor temperatur dan kelembapan, dua buah mikrokontroler ESP32, Raspberry Pi, protokol komunikasi MQTT dan Node-RED. Sensor temperatur dan kelembapan dipilih sedemikian hingga cocok mengukur parameter terkait. Sistem telah diuji selama satu hari penuh. Hasil dari rancangan ini adalah sistem mampu menampilkan data pengukuran serta merekamnya dalam format .csv. Sistem juga mampu secara kualitatif menggambarkan dinamika cuaca dan penyiraman yang terjadi di luar dan di dalam rumah kaca.

Kata kunci — MQTT, Node-RED, pemantauan, rumah kaca

I. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan (*food security*) suatu negara merupakan keadaan dimana semua orang, sepanjang waktu memiliki akses fisik, sosial dan ekonomi terhadap makanan yang cukup, sehat dan aman sehingga dapat memenuhi kebutuhan dan preferensi makanan untuk hidup aktif dan sehat [1]. Berdasarkan data tahun 2022 dari *Global Food Security Index*, Indonesia berada di peringkat 63 dari 113 negara dan berada di bawah negara tetangga Singapore, Vietnam dan Malaysia [2]. Salah satu kelemahan Indonesia dalam hal ketahanan pangan adalah volatilitas hasil pertanian [3]. Volatilitas hasil pertanian ini

dapat disebabkan oleh tidak menentukannya hasil produksi lahan pertanian yang terkendala oleh faktor cuaca dan tenaga kerja di bidang pertanian. Keadaan ketahanan pangan ini diperburuk dengan pandemi COVID-19 dimana dominan keluarga Indonesia mendapatkan bahan pangan dengan membeli dari pasar [4]. Salah satu strategi yang efektif dalam menanggulangi krisis pangan adalah dengan pertanian perkotaan (*urban farming*) dimana rumah tangga/keluarga menanam bahan pangan secara mandiri. Studi yang dilakukan oleh Purwanto dkk [5] menyimpulkan bahwa pertanian perkotaan dapat menstabilkan perekonomian keluarga serta mempermudah akses terhadap bahan pangan.

Rumah kaca atau rumah hijau (*greenhouse*) merupakan salah satu bentuk dari pertanian perkotaan. Rumah kaca merupakan suatu bangunan yang berfungsi untuk merekayasa kondisi lingkungan sehingga tanaman dapat bertumbuh secara optimal [6]. Dua parameter lingkungan utama yang mempengaruhi tanaman diantaranya temperatur dan kelembapan [7]. Namun, sebelum rekayasa dilakukan maka kondisi temperatur dan kelembapan rumah kaca harus terukur dan terpantau dengan baik. Pemantauan dapat dilakukan secara lokal atau berbasis konsep *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pengguna untuk memantau dari lokasi yang jauh dan memperoleh peringatan dini apabila terjadi kondisi lingkungan yang membahayakan tanaman.

Beberapa peneliti merancang dan membangun sistem pemantauan dan pengendalian parameter rumah kaca. Agus A dkk merancang sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT [7]. Sistem ini memantau kondisi temperatur dan kelembapan di dalam rumah kaca, temperatur dan kelembapan tanah serta intensitas cahaya. Sri M [6] menggunakan Wemos D1 R2 untuk memantau dan mengendalikan temperatur udara, kelembapan tanah dan kelembapan udara. Ahmad M dkk [8] merancang sistem pengendali otomatis untuk tanaman cabai. Parameter yang dikendalikan diantaranya penyiraman air, pemberian pupuk serta lampu penerangan. Anak Agung AD dkk [9] merancang dan membangun sistem pengkondisian udara pada sistem hidroponik. Sistem ini memantau temperatur dan kelembapan udara dan air yang nilainya akan digunakan sebagai acuan pengoperasian kipas dan pompa. Harun S dan Yayat N merancang sistem rumah kaca cerdas yang dapat

memantau keadaan rumah kaca berbasis IoT [10]. Pada penelitian ini, pemantauan dapat dilakukan secara jarak jauh dengan menggunakan aplikasi. Yogha A dan Wahyu A [11] menggunakan jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor network*) untuk otomatisasi temperatur dan kelembapan rumah kaca. Pada penelitian ini, *web server* digunakan sebagai media pemantauan. Berdasarkan telaah pustaka, penelitian-penelitian tersebut berfokus pada pengukuran keadaan di dalam rumah kaca khususnya keadaan temperatur dan kelembapan udara di dalam rumah kaca serta temperatur dan kelembapan media tanam. Hal ini terlihat dari jumlah sensor yang terbatas mengukur keadaan di dalam rumah kaca. Akan tetapi, rumah kaca seharusnya dipandang sebagai suatu sistem terbuka dimana terdapat transfer kalor dan massa diantara rumah kaca dan lingkungannya. Sehingga pengukuran parameter di dalam dan di luar rumah kaca harus secara bersamaan dilakukan.

Beberapa penelitian secara khusus membahas pentingnya relasi kondisi di dalam dan di luar rumah kaca. Relasi tersebut bersifat dinamis, melibatkan beberapa parameter yakni temperatur tanah, temperatur udara di dalam dan di luar rumah kaca, serta aliran udara [12]. Relasi dan dinamika tersebut telah terbukti mempengaruhi hasil pertanian, diantaranya pertanian tomat [13]. Penelitian-penelitian tersebut membahas model dan simulasi numerik dimana rumah kaca dipandang sebagai sistem termodinamika dan fluida. Penelitian yang dilakukan oleh W Chen dan W Liu menyimpulkan bahwa temperatur udara, tanah dinding pada rumah kaca dipengaruhi oleh radiasi matahari [12]. Pengaruh ini juga telah disimulasikan dengan *computational fluid dynamics* oleh A Saberian dan Sajadiye S [14]. Model termal rumah kaca juga dikembangkan oleh M. Din dkk [15]. Model tersebut diselesaikan dengan metode Runge-Kutta yang menunjukkan adanya pengaruh dominan dari transfer energi matahari dan material dinding rumah kaca.

Dari telaah pustaka tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem pemantauan rumah kaca harus dilakukan secara simultan, yakni pemantauan keadaan di luar dan di dalam rumah kaca serta keadaan media tanam. Pengukuran yang simultan ini dapat bermanfaat untuk membangun atau memverifikasi model rumah kaca. Pengukuran keadaan-keadaan tersebut bukan hanya ditampilkan namun harus disimpan dalam format yang nantinya akan dianalisa lebih lanjut. Oleh karena itu, tujuan dan kontribusi dari penelitian ini adalah rancang bangun sistem pemantauan dan perekaman data dari keadaan di dalam dan di luar rumah kaca serta keadaan media tanam pada rumah kaca.

TABEL I
SENSOR YANG DIGUNAKAN PADA PENELITIAN

No	Model sensor	Parameter yang diukur
1	SHT20 I2C temperature and humidity sensor	Temperatur dan kelembapan udara luar rumah kaca
2	Gravity: DHT 22	Temperatur dan kelembapan udara dalam rumah kaca
3	Gravity: analog capacitive soil moisture sensor	Kelembapan tanah
4	Gravity: waterproof DS18B20	Temperatur tanah

II. METODE

Pada penelitian ini, parameter sistem rumah kaca yang akan diukur dan dipantau adalah:

- Temperatur dan kelembapan di luar rumah kaca
- Temperatur dan kelembapan di dalam rumah kaca
- Temperatur dan kelembapan media tanam

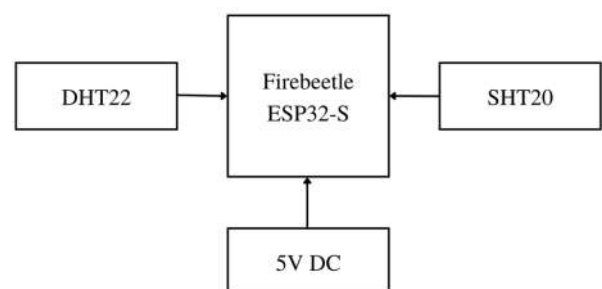
Pemantauan dilakukan secara nirkabel melalui jaringan lokal. Jaringan lokal dipilih untuk menghindari kendala IoT yang berbasis pada komputasi/penyimpanan di *cloud*. Kendala tersebut diantaranya beban lebar data, kecepatan respon, keamanan dan *privacy* data [16]. Selain itu, nantinya jaringan lokal ini dapat dimanfaatkan untuk komputasi *edge* yang akhir-akhir ini menjadi bidang kajian yang sangat berkembang [16]. Untuk mengukur parameter tersebut, maka harus ditentukan sensor yang sesuai, mikrokontroler, protokol komunikasi serta tampilan dan perekaman data.

A. Pemilihan sensor dan mikrokontroler

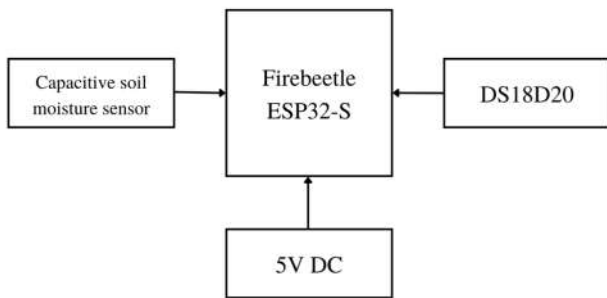
Parameter yang akan diukur pada penelitian ini adalah temperatur dan kelembapan, namun karakteristik media yang diukur berbeda. Oleh karena itu, sensor harus dipilih sedemikian hingga sesuai dengan karakteristik media yang diukur. Tabel I memberikan informasi sensor yang digunakan pada penelitian ini.

Sensor SHT20 dipilih karena memiliki fitur perlindungan ganda terhadap air sehingga cocok untuk digunakan sebagai sensor untuk mengukur temperatur dan kelembapan di luar rumah kaca yang rentan terhadap cuaca seperti hujan dan panas. Berbeda dengan DHT 22 yang lebih cocok untuk mengukur temperatur dan kelembapan di dalam rumah kaca. Sensor SHT20 merupakan sensor berbasis I2C dan hanya memiliki satu alamat, sehingga hanya satu sensor SHT20 yang diperkenankan untuk digunakan pada satu mikrokontroler. Untuk pengukuran temperatur tanah, digunakan DS18B20 yang juga tahan terhadap air. Sementara sensor kelembapan tanah dipilih yang berbasis kapasitif karena lebih rentan terhadap korosi.

Pada rancang bangun sistem pemantauan ini, digunakan dua buah mikrokontroler FireBeetle ESP32-S sebagai *node*. Satu mikro-kontroler terhubung dengan sensor temperatur dan kelembapan SHT20 dan DHT22 sementara mikrokontroler lainnya terhubung dengan sensor kelembapan kapasitif dan temperatur tanah DS18B20. Kedua *nodes* tersebut memperoleh daya 5V dari *power bank* dengan kapasitas 10000 mAh. Gambar 1 dan 2 memperlihatkan skema dari kedua *nodes* ini.



Gambar 1. Skema komponen *node* pertama



Gambar 2. Skema komponen *node* kedua

TABEL II
 TOPIK PROTOKOL MQTT

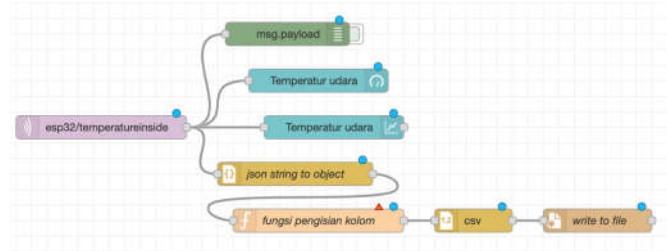
No	Topic	Parameter yang diukur & sensor yang digunakan
1	esp32/temperatureinside	Temperatur udara di dalam rumah kaca (sensor DHT22)
2	esp32/humidinside	Kelembapan udara di dalam rumah kaca (Sensor DHT22)
3	esp32/temperatureoutside	Temperatur udara di luar rumah kaca (sensor SHT20)
4	esp32/humidoutside	Kelembapan udara di luar rumah kaca (sensor SHT20)
5	esp32/temperaturesoil	Temperatur tanah (Sensor DS18B20)
6	esp32/humidsoil	Kelembapan tanah (Sensor <i>capacitive moisture</i>)

Mini komputer Raspberry Pi 4 Model B digunakan sebagai *gateway* untuk menampilkan dan menyimpan data pengukuran. Pemilihan mikrokontroler ESP32-S dan Raspberry Pi 4 ini memungkinkan untuk pengembangan sistem selanjutnya seperti *machine learning* atau *edge computing* [17]. Akses ke Raspberry Pi menggunakan protokol *ssh* sehingga tidak memerlukan tambahan *monitor*, *keyboard* dan *mouse*.

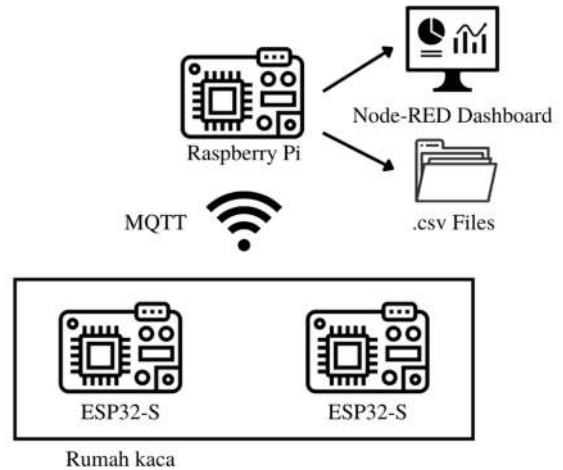
B. Protokol komunikasi MQTT dan Node-RED

Komunikasi antara *node* dan *gateway* menggunakan protokol komunikasi *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Protokol MQTT didesain untuk komunikasi berbasis *publish/subscribe* yang ideal untuk menyambungkan komponen dengan lebar data yang minimal. Menurut Kalyani Y dan Collier R, protokol MQTT ini adalah protokol komunikasi yang paling aman untuk pengumpulan data pengukuran [17]. Pada protokol MQTT, keluaran setiap sensor dibedakan dengan *topic*. Pada penelitian ini, terdapat 6 *topic* yang dijabarkan pada Tabel II berikut.

Untuk tampilan dan perekaman data, penelitian ini menggunakan Node-RED. Node-RED merupakan *software* untuk menyambungkan *hardware* yang berbasis *web-based editor*. Node-RED diprogram dalam bentuk *flows* dengan beragam fitur *pallette*. Gambar 3 menunjukkan salah satu *flows* untuk pembacaan sensor temperatur di dalam rumah kaca. *Flow* dimulai dengan blok MQTT yaitu pembacaan data sensor dari *topic* yang terkait. Proses ini disebut dengan proses *subscribe*. Data tersebut kemudian masuk ke empat blok berbeda:



Gambar 3. Contoh *flow* untuk salah satu *topic* sensor



Gambar 4. Alur kerja sistem

- msg.payload* untuk kepentingan *debugging* dimana data sensor dapat dimonitor satu persatu,
- gauge* untuk menampilkan data dalam bentuk indikator,
- graph* untuk menampilkan data dalam bentuk grafik terhadap waktu menampilkan data selama satu jam terakhir,
- json string to object* untuk mempersiapkan data dalam format file *.csv*. Struktur data terdiri dari dua kolom yaitu kolom waktu dan kolom bacaan sensor. Blok ini berlanjut hingga menuliskan data satu persatu (*append*) pada file berformat *.csv*.

Terdapat dua *output* dari *flow* Node-RED ini yaitu tampilan pada Node-RED *dashboard* yang dapat diakses melalui halaman web dengan format alamat *ipaddress/1880:ui* dan 6 *file .csv* yang dapat dibuat grafik dan dianalisa kemudian.

C. Alur kerja sistem

Secara umum alur kerja sistem pemantauan kondisi rumah kaca diilustrasikan pada Gambar 4.

Proses dimulai dengan pembacaan sensor oleh dua buah ESP32-S. Terdapat 6 bacaan sensor yang diberi nama *topic* berbeda-beda (Tabel 2). Bacaan sensor diambil dalam rentang waktu 120 detik. Bacaan sensor tersebut kemudian dikirim ke Node-RED yang sudah ter-*install* pada Raspberry Pi menggunakan protokol komunikasi MQTT. Node-RED kemudian menampilkan data pada *dashboard* dan menyimpan masing-masing bacaan sensor dalam *file* dengan format *.csv*.

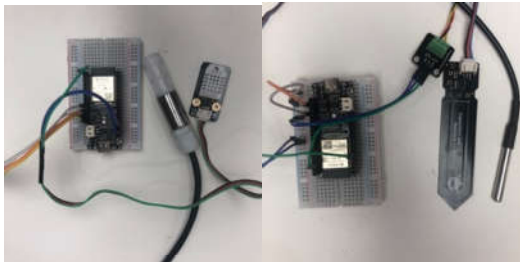
D.Implementasi dan pengujian

Purwarupa dari node ESP32-S ditunjukkan pada Gambar 5. Pemrograman ESP32-S dilakukan melalui Arduino IDE dan kabel data. Gambar 6 menunjukkan Raspberry Pi yang telah diberi casing dilengkapi dengan kipas agar dapat mendinginkan prosesor saat pengujian berlangsung. Koneksi dari ESP32-S ke Raspberry Pi dilakukan melalui jaringan wifi lokal.

Pengujian dilakukan pada rumah kaca berukuran 69x49x158 cm. Rumah kaca ini dilapisi dengan cover plastik berbahan PVC dengan rangka berupa pipa plastik. Jarak pengujian antara ESP32-S (node) dan Raspberry Pi sejauh kurang lebih 9 meter. Gambar 7 menunjukkan rumah kaca tempat dimana sistem diuji.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah purwarupa dirakit dan dipasang pada rumah kaca, purwarupa diuji selama 13,5 jam dimulai pada pukul 07:00 hingga pukul 20:30 dengan pengambilan data setiap 2 menit. Pengujian pertama dilakukan dengan melihat pembacaan sensor pada setiap ESP-32S. Kemudian dilakukan pengujian



Gambar 5. Node ESP-32S pertama dengan sensor temperatur dan kelembapan SHT20 dan DHT22 (kiri), Node ESP-32S kedua dengan sensor temperatur tanah DS18B20 dan sensor capacitive soil moisture (kanan)



Gambar 6. Gateway Raspberry Pi 4



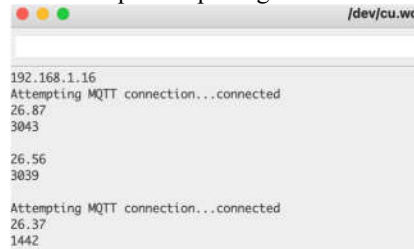
Gambar 7. Rumah kaca dimana sistem diuji

koneksi MQTT antara ESP-32S dan Raspberry Pi. Gambar 8 menunjukkan tampilan serial monitor Arduino IDE. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa sensor dan koneksi berfungsi dengan baik. Hal ini terlihat dengan notifikasi bahwa koneksi MQTT berstatus *connected* dan sensor dapat memberikan *output* yang sesuai.

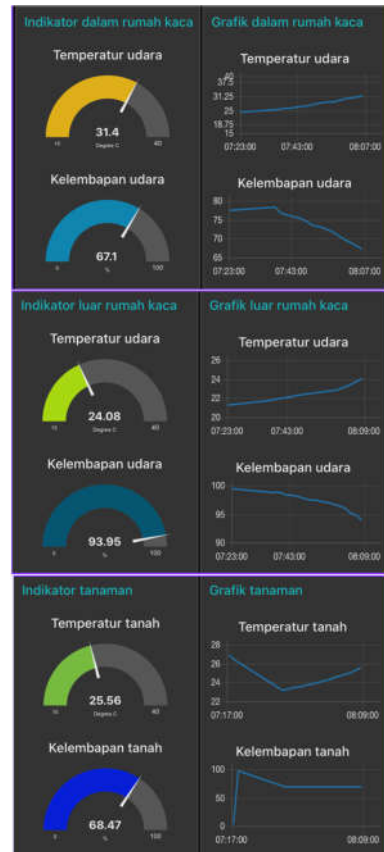
Pengujian kedua dilakukan dengan melihat tampilan pada *dashboard* Node-RED. Gambar 9 menunjukkan tampilan pada Node-RED yang dapat diakses melalui *web browser*.

Pada Gambar 9 terlihat bahwa indikator sensor dapat menunjukkan bacaan sensor serta grafik sensor dapat menunjukkan grafik antara waktu (sumbu x) dan bacaan sensor (sumbu y).

Tujuan dari dibuatnya dua tipe tampilan ini adalah agar dapat terlihat nilai bacaan sensor aktual saat ini serta *trend* atau dinamika perubahan nilai sensor terhadap waktu. Input waktu diperoleh dari Raspberry Pi yang terhubung dengan jaringan internet. Waktu diperoleh dengan kode sederhana yang diprogram pada Node-RED. Dengan demikian pada mikrokontroler tidak perlu dipasang *Real Time Clock*.



Gambar 8. Tampilan serial monitor pada salah satu ESP32-S



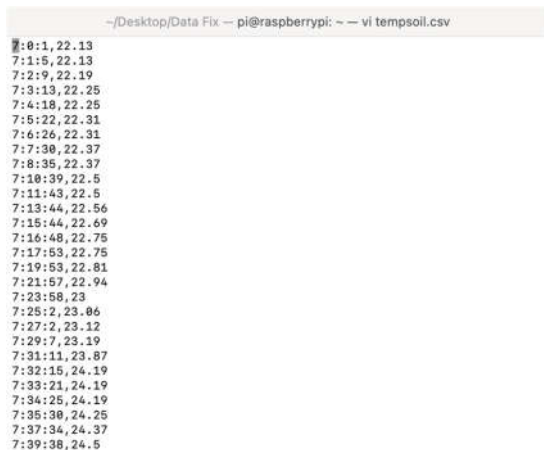
Gambar 9. Tampilan *dashboard* Node-RED pada Raspberry Pi

Gambar 10 menunjukkan data dalam format *file* .csv yang telah disalin dari Raspberry Pi. Data tersebut terdiri dari dua kolom yaitu kolom pertama merupakan waktu dengan format hh:mm:ss dan kolom kedua adalah bacaan sensor. Kedua kolom tersebut dipisahkan dengan karakter koma (,). Masing-masing sensor memiliki *file* .csv yang berbeda. Program Node-RED juga dirancang untuk membuat *file* .csv baru apabila hari berganti. Tujuannya agar data dapat dengan mudah diolah per-sensor dan per-hari pengukuran.

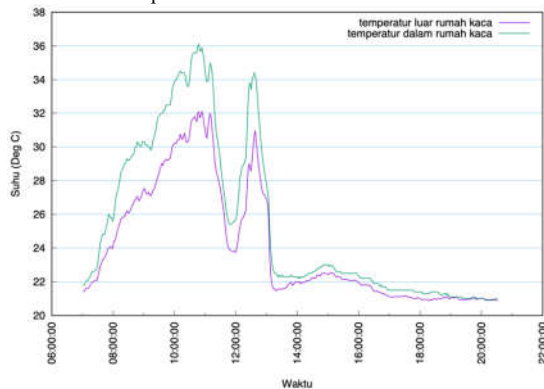
Untuk melihat seluruh hasil pengukuran, grafik bacaan sensor terhadap waktu dibuat dari *file* .csv dengan menggunakan program GNUPLOT. Grafik ini akan bermanfaat dalam melakukan analisa performa dan analisa termodinamika dari rumah kaca.

Gambar 11 menunjukkan grafik temperatur di dalam dan di luar rumah kaca. Terlihat pada grafik bahwa temperatur di dalam rumah kaca lebih tinggi dibandingkan di luar rumah kaca. Temperatur tertinggi di dalam rumah kaca mencapai 35,9 °C. Perbedaan temperatur tertinggi adalah sebesar 4 °C yang terjadi sekitar pukul 11:00.

Hal ini terjadi karena terdapat kalor yang terperangkap di dalam rumah kaca. Kalor tersebut dominan berasal dari radiasi sinar matahari [14]. Penurunan temperatur terjadi pada 11:15 karena di lokasi pengujian terjadi hujan. Temperatur sempat naik kembali pada pukul 12:15 saat hujan berhenti. Temperatur turun kembali pada pukul 13:00 karena hujan kembali turun. Temperatur berangsur turun hingga mencapai temperatur terendah 20 °C pada malam hari.



Gambar 10. Cuplikan salah satu data sensor dalam format .csv

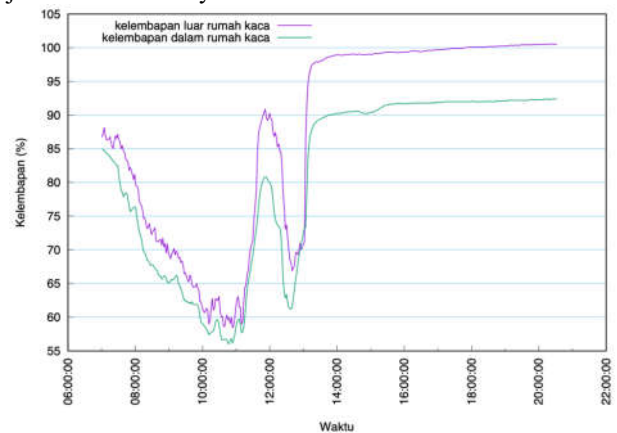


Gambar 11. Grafik temperatur di dalam dan luar rumah kaca

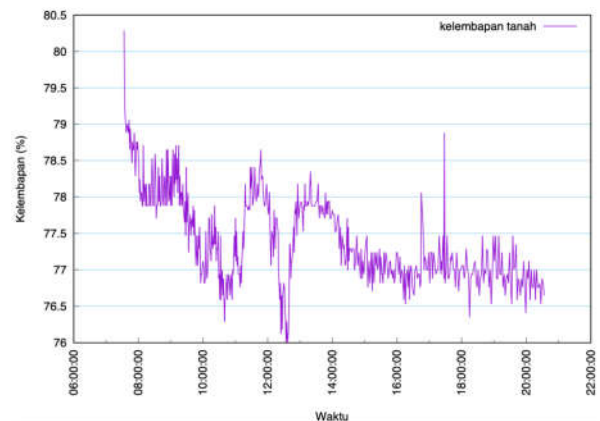
Gambar 12 menunjukkan grafik kelembapan udara di dalam dan di luar rumah kaca. Terlihat pada grafik bahwa kelembapan di dalam rumah kaca lebih rendah dibandingkan kelembapan di luar rumah kaca dengan perbedaan maksimal mencapai 9,8%.

Sejak pukul 07:00 hingga pukul 10:30 kelembapan udara menurun seiring dengan cuaca cerah yang menyebabkan udara namun sejak cuaca mendung dan hujan turun pukul 11:15 yang menyebabkan jumlah air di udara meningkat. Kelembapan udara sempat turun hingga pukul 12:15 karena hujan berhenti dan matahari sempat muncul kembali. Namun kembali meningkat hingga mencapai 92% di dalam rumah kaca karena hujan turun kembali. Terlihat juga bahwa perbedaan kelembapan semakin membesar hingga malam hari, hal ini wajar terjadi karena memang salah satu fungsi dari rumah kaca adalah untuk membuat kelembapan udara yang berbeda dengan lingkungan luar.

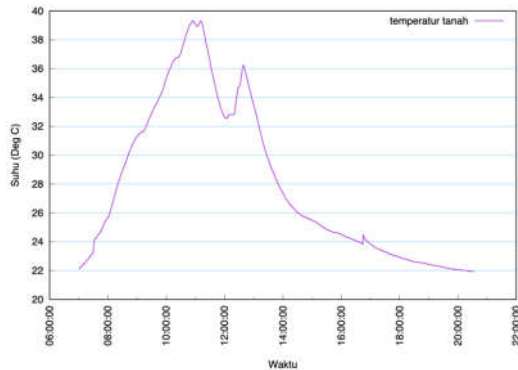
Gambar 13 menunjukkan grafik kelembapan tanah yang dijadikan media tanam tanaman. Terdapat dua puncak nilai kelembapan yang terlihat pada sekitar pukul 07:00 dan antara pukul 17:00 hingga 17:30, hal ini terjadi karena proses penyiraman. Terlihat nilai kelembapan tanah sangat fluktuatif. Hal ini mungkin terjadi karena media tanah yang berporos, menyebabkan kontak air terhadap sensor menjadi tersebar dan acak. Terlihat kembali nilai yang naik turun di sekitar pukul 11:15, 12:15 dan sekitar pukul 13:00, hal ini kembali terjadi karena dinamika cuaca hujan dan cerah seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 12. Grafik kelembapan di dalam dan luar rumah kaca



Gambar 13. Grafik kelembapan tanah



Gambar 14. Grafik temperatur tanah

Gambar 14 menunjukkan grafik temperatur tanah yang nilainya meningkat hingga sesaat sebelum hujan pada pukul 11:15. Hal ini terjadi karena transfer kalor dari radiasi matahari yang masuk ke dalam rumah kaca. Temperatur tanah maksimal mencapai 39 °C yang nilainya melebihi temperatur udara di dalam rumah kaca. Hal ini mungkin terjadi karena media tanah yang memiliki kapasitas tanah lebih besar daripada udara di dalam rumah kaca. Fluktuasi nilai temperatur kembali terlihat pada dinamika cuaca luar yang terjadi pada rentang pukul 11:15 hingga 13:00. Terdapat sedikit peningkatan temperatur tanah di sekitar pukul 17:00, hal ini terjadi karena proses penyiraman yang sedang berlangsung dimana temperatur air siraman sedikit lebih tinggi dibandingkan temperatur tanah.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berfokus pada rancang bangun sistem pengukuran temperatur dan kelembapan sistem rumah kaca. Di mana sistem rumah kaca tersebut terdiri dari keadaan di luar rumah kaca, dalam rumah kaca dan media tanam. Sistem yang telah dibangun mampu menampilkan data pengukuran temperatur dan kelembapan sistem rumah kaca pada *dashboard* Node-RED dengan tampilan indikator dan grafik. Sistem juga mampu melakukan perekaman data dalam bentuk .csv. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur di dalam rumah kaca lebih tinggi dibandingkan di luar rumah kaca. Sementara kelembapan di dalam rumah kaca lebih rendah dibandingkan di luar rumah kaca. Nilai kelembapan dan temperatur tanah mampu mengukur proses penyiraman. Dari keseluruhan hasil pengukuran, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem yang dibangun mampu menggambarkan dinamika lingkungan yang terjadi di luar rumah kaca secara kualitatif dimana terjadi dinamika cuaca cerah dan hujan. Sistem dapat dikembangkan dengan menambah sensor aliran udara dan menambah sensor temperatur di dalam rumah kaca. Hasil pengukuran aliran udara dan temperatur tersebut nantinya akan dapat menggambarkan aliran fluida yang mendistribusikan kalor di dalam rumah kaca, sehingga dapat digunakan untuk membangun atau melakukan validasi model termodinamika rumah kaca.

V. KUTIPAN

- [1] FAO, "The State of Food Insecurity in the World 2002," Rome, Italy, 2002.
- [2] The Economist Group, "Global Food Security Index 2022," 2022. [Daring]. Available: <http://economistimpact>.

- [3] A. S. Sukreman, N. A. Rahim, N. N. Zainol, N. A. Azmi, dan M. S. Alizan Nordin, "The state of food security: A comparative study between Malaysia, Singapore, and Indonesia," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1067, no. 1, hlm. 012009, Okt 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1067/1/012009.
- [4] I. S. Aisyah, "Ketahanan Pangan Keluarga Di Masa Pandemi Covid 19," *Jurnal Kesehatan Komunitas Indonesia*, vol. 16, no. 2, hlm. 179–189, 2020.
- [5] Purwanto *dkk.*, "Urban farming and food security: Household's adaptive strategy to COVID-19 crises," dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Nov 2021, vol. 892, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/892/1/012070.
- [6] S. Mulyono, M. Qomaruddin, dan M. Syaiful Anwar, "Penggunaan Node-RED pada Sistem Monitoring dan Kontrol Green House berbasis Protokol MQTT," 2018.
- [7] A. Ambarwari, Dewi Kania Widyawati, dan Anung Wahyudi, "Sistem Pemantau Kondisi Lingkungan Pertanian Tanaman Pangan dengan NodeMCU ESP8266 dan Raspberry Pi Berbasis IoT," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 3, hlm. 496–503, Jun 2021, doi: 10.29207/resti.v5i3.3037.
- [8] A. Minariyanto, M. Mardiono, dan S. W. Lestari, "Perancangan Prototype Sistem Pengendali Otomatis Pada Greenhouse Untuk Tanaman Cabai Berbasis Arduino Dan Internet Of Things (IoT)," *J Teknol*, vol. 7, no. 2, hlm. 121–135, Mei 2020, doi: 10.31479/jtek.v7i2.50.
- [9] A. Agung Angga Dwipa, I. W. Gede Putu Wirarama Wedashwara, dan A. Zubaidi, "Design and Development of Air Conditioning System Based on IoT in Case Study Hydroponic Lettuce Plant," 2019. [Daring]. Available: <http://jcosine.if.unram.ac.id/>
- [10] H. Sujadi dan Y. Nurhidayat, "SMART GREENHOUSE MONITORING SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS," 2019.
- [11] Y. A. Adnantha dan W. A. Kusuma, "Implementasi Wireless Sensor Network Untuk Otomatisasi Temperatur Ruang Dan Kelembapan Tanah Pada Greenhouse Berbasis Web Server," *Jurnal Online Informatika*, vol. 3, no. 1, hlm. 14, Jun 2018, doi: 10.15575/join.v3i1.169.
- [12] W. Chen dan W. Liu, "Numerical simulation of the airflow and temperature distribution in a lean-to greenhouse," *Renew Energy*, vol. 31, no. 4, hlm. 517–535, Apr 2006, doi: 10.1016/j.renene.2005.04.015.
- [13] D. H. Willits dan M. M. Peet, "The effect of night temperature on greenhouse grown tomato yields in warm climates," 1998.
- [14] A. Saberian dan S. M. Sajadiye, "The effect of dynamic solar heat load on the greenhouse microclimate using CFD simulation," *Renew Energy*, vol. 138, hlm. 722–737, Agu 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.01.108.
- [15] M. Din, G. N. Tiwari, M. K. Ghosal, N. S. L. Srivastava, M. I. Khan, dan M. S. Sodha, "Effect of thermal storage on the performance of greenhouse," *Int J Energy Res*, vol. 27, no. 1, hlm. 79–92, Jan 2003, doi: 10.1002/er.855.
- [16] K. Cao, Y. Liu, G. Meng, dan Q. Sun, "An Overview on Edge Computing Research," *IEEE Access*, vol. 8. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., hlm. 85714–85728, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2991734.
- [17] Y. Kalyani dan R. Collier, "A systematic survey on the role of cloud, fog, and edge computing combination in smart agriculture," *Sensors*, vol. 21, no. 17. MDPI, Sep 01, 2021. doi: 10.3390/s21175922.



Christian Fredy Naa memperoleh gelar sarjana Fisika pada tahun 2009 di Institut Teknologi Bandung. Bidang keahlian yang dikerjakan sepanjang S1 adalah fisika instrumentasi dan komputasi. Ia kemudian melanjutkan pendidikan magister di Sains Komputasi, Institut Teknologi Bandung dan Kanazawa University dan lulus pada tahun 2011. Pada tahap magister ini, bidang yang ia kerjakan adalah komputasi dinamika fluida. Ia kemudian melanjutkan pendidikan Doktor di Institut Teknologi Bandung dan Universite Littoral

Cote D'Opalle dan lulus pada tahun 2017. Bidang yang ia kerjakan pada pendidikan doktor adalah komputasi dan eksperimen material magnetik. Sejak tahun 2015 hingga saat ini (2022), ia mengajar di Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.