

SISTEM PEMANTAUAN HIDROPONIK MULTILOKASI

Multilocation Hydroponic Monitoring

Estiyanti Ekawati^{1,4}, Joshua Effendy^{3,4}, Erick Alexander^{3,4}, Angga Dwiartama^{2,4}

1 Kelompok Keahlian Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

2 Kelompok Keahlian Manajemen Sumber Daya Hayati, Sekolah Teknologi dan Ilmu Hayati, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

3 Program Studi Sarjana Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

4 Pusat Teknologi Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Jalan Ganesa 10 Bandung 40132, Indonesia,

E-mail : esti@tf.itb.ac.id

(Makalah diterima, 12 September 2021 – Disetujui, 03 Desember 2021)

ABSTRAK

Kebutuhan pangan yang terus meningkat memacu perkembangan metode pertanian, diantaranya metode hidroponik. Metode ini memungkinkan peneliti untuk membandingkan berbagai efek perlakuan terhadap produk panen, baik kondisi lingkungan maupun sifat fisik dan kimia nutrisi hidroponik. Untuk itu, pada penelitian ini dikembangkan sistem berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau kondisi dua sistem hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT), yang beroperasi di lokasi yang terpisah sejauh 18 Km. Pemantauan meliputi besaran suhu lingkungan, besaran sifat fisik nutrisi yaitu suhu dan debit larutan, serta besaran sifat kimiawi nutrisi yaitu keasaman dan elektrokonduktivitas larutan. Seluruh besaran ini diukur oleh sensor dan ditransmisikan menuju server menggunakan protokol *Message Queuing Transport Telemetry* (MQTT) dengan pola *Publish-Subscribe*. Sistem ini beroperasi pada jaringan internet institusional. Seluruh besaran ditayangkan pada antarmuka laman web, berupa data sesaat dan grafik perubahan terhadap waktu. Durasi transmisi data hingga penayangan di laman web adalah 31-35 detik, sehingga ditetapkan periode pencacahan data 1 menit. Pengujian menunjukkan bahwa kinerja pengukuran sistem sesuai dengan sensor standar terkalibrasi selama siklus pertumbuhan tanaman. Kemampuan ini memfasilitasi untuk penelitian terhadap efek perlakuan nutrisi dan mikroiklimat terhadap pertumbuhan tanaman pada lebih dari satu sistem di lokasi yang berbeda, selama berada dalam jaringan internet.

Kata kunci: hidroponik, DFT, IoT, MQTT, pemantauan, visualisasi data

ABSTRACT

The increasing need for food motivated the development of agricultural methods, including the hydroponic method. This method allows researchers to compare the various treatment effects on harvested products, microclimate, and hydroponic nutrients' physical and chemical properties. In this study, an Internet of Things (IoT) system was developed to monitor the condition of two Deep Flow Technique (DFT) hydroponic systems, which operate in separate locations 18 Kms apart. The measurements consisted of the temperature of microclimates, the weather and flow rate of nutrients, and the acidity and conductivity of nutrients. On-line sensors measured these variables, and the data were transmitted to the server using the Message Queuing Transport Telemetry (MQTT) protocol with a Publish-Subscribe method. This system operated over an institutional internet network. All variables were displayed on a web page interface, consisting of instantaneous data dan historical graphs. The duration of data transmission up to the web page is 31-35 seconds. Hence a sampling period of 1 minute was used. Tests showed that the system measurement performance conformed to standard calibrated sensors. Furthermore, the performance was maintained throughout the plant growth cycle. This capability facilitates research into the effects of nutrient and microclimate treatments on plant growth in more than one system at different locations within an internet network.

Key words: hydroponics, DFT, IoT, MQTT, monitoring, data visualization

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dunia dan menurunnya ketersediaan lahan pertanian depan telah mendorong berbagai pengembangan metode pertanian tanpa media tanah, diantaranya metode hidroponik. Dalam metode ini, tumbuhan dibesarkan pada media larutan yang bernutrisi tinggi bersama material yang mengikat kelembaban. Penggunaan air sebagai media tanam pengganti tanah ini membuat konstruksi sistem hidroponik lebih fleksibel, sehingga dapat disesuaikan dengan ruang yang tersedia.

Pada sistem hidroponik yang optimal, tanaman dapat tumbuh dua kali lebih cepat dibandingkan dengan sistem pertanian konvensional (Jones, 2004). Namun, untuk mendapatkan kondisi tersebut, dibutuhkan pengkondisian lingkungan dan larutan nutrisi yang tepat. Untuk itu, berbagai studi tentang sistem hidroponik telah dilakukan.

Keberhasilan pertumbuhan tanaman ditentukan oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal meliputi unsur genetika serta hormon pertumbuhan tanaman yang bersangkutan. Faktor eksternal meliputi suhu, kelembaban, komposisi udara dan tingkat pencahayaan di sekitar tanaman; serta unsur hara, kandungan gas, keasaman dan organisme dalam larutan nutrisi (Jones, 2004).

Diantara faktor-faktor tersebut, komposisi unsur hara dalam larutan nutrisi serta penyerapannya oleh akar tanaman merupakan kunci keberhasilan sistem hidroponik. Larutan nutrisi (*nutrient*) harus mengandung unsur hara yang dibutuhkan tanaman, yaitu unsur makro (N, P, S, K, Ca, dan Mg) dan mikro (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, dan Zn). Kepekatan berbagai unsur hara ini diwakili oleh ukuran elektro-konduktivitas (EC) larutan. Rentang nilai EC yang cocok untuk sistem hidroponik di Indonesia adalah 1,5 - 2,5 mS/cm. Nilai EC yang terlalu rendah atau terlalu tinggi akan menyebabkan defisiensi nutrisi dan menurunkan pertumbuhan dan biomassa tanaman (Gorbe dan Calatayud, 2010).

Selanjutnya agar akar tanaman dapat menyerap unsur hara, maka tingkat keasaman (pH) larutan nutrisi perlu dijaga pada rentang pH 5,5 - 7. Keasaman yang terlalu tinggi atau rendah dapat mengendapkan unsur hara sehingga tidak terserap oleh akar tanaman (Gorbe dan Calatayud, 2010).

Penyerapan unsur hara oleh akar tumbuhan serta metabolismenya juga dipengaruhi oleh kondisi fisika larutan nutrisi serta lingkungan (mikroklimat) di sekitar tumbuhan, seperti suhu dan kelembaban. Suhu optimum untuk larutan nutrisi hidroponik adalah 18 - 28 derajat Celsius, serta kelembaban lingkungan 80% - 90% (Gorbe dan Calatayud, 2010).

Untuk memantau dan mengontrol besaran-besaran pada rentang optimal tersebut, telah dikembangkan berbagai

purwarupa sistem. Ruengittinun *et al.* (2017) membuat purwarupa sistem hidroponik mini untuk memantau dan mengontrol kelembaban, suhu larutan nutrisi, suhu lingkungan, pH dan EC melalui telepon seluler. Pitakphongmetha *et al.* (2016) membuat sistem kontrol suhu dan pencahayaan untuk mendukung pertumbuhan Pakcoy (*Brassica rapa*) dalam sebuah green house. Crisnapati *et al.* (2017) menggabungkan sistem panel surya sebagai sumber energi bagi sistem kontrol suhu serta ketinggian permukaan, kandungan dan keasaman larutan nutrisi dalam pertumbuhan tanaman Pakcoy, Selada (*Lactuca sativa Linn*), dan Kale (*Brassica oleracea*). Sistem hidroponik yang digunakan adalah *Nutrient Film Technique* (NFT), di mana larutan nutrisi dialirkan setipis satu sampai tiga milimeter, sehingga hampir seluruh akar tanaman terkena udara. Farizi (2018) dan Ramadhan (2018) juga mengembangkan sistem pemantauan pH dan EC larutan nutrisi dengan protokol Firebase untuk satu sistem hidroponik NFT yang berjalan dalam durasi satu jam bila sistem pemantauan diaktifkan. Sistem terlengkap dikembangkan oleh Changmai *et al.* (2018) berupa sistem kontrol pH dan EC pada larutan nutrisi, serta suhu, dan kelembaban udara untuk mendukung pertumbuhan Selada (*Lactuca sativa Linn*) pada sistem hidroponik NFT dalam sebuah *green house*.

Seluruh penelitian di atas dilaksanakan untuk satu sistem dalam satu lokasi. Di lain pihak, untuk memfasilitasi penelitian tentang pengaruh berbagai perlakuan terhadap keberhasilan pertumbuhan tanaman hidroponik, dibutuhkan pula sistem pemantauan yang mampu memadukan informasi dari berbagai lokasi. Merespon kebutuhan tersebut, penelitian ini bertujuan menghasilkan sistem pemantauan besaran fisis sistem hidroponik yang dapat memantau lebih dari satu lokasi dengan memanfaatkan komunikasi data melalui jaringan internet. Pengguna dapat mengakses data tersebut melalui aplikasi web.

Pengembangan sistem ini diuraikan atas material dan metode pembangunan arsitektur sistem, hasil implementasi dan pengujian sistem, dan ditutup oleh kesimpulan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini mengintegrasikan tiga alur aktivitas. Aktivitas alur pertama fokus pada sistem hidroponik, yang terdiri dari pembuatan kit hidroponik, larutan nutrisi dan penanaman. Fokus alur kedua adalah instrumentasi, meliputi pemilihan, kalibrasi dan instalasi instrumen. Fokus alur ketiga adalah pemrograman komunikasi data. Bab ini menjelaskan material dan metode yang digunakan pada masing-masing alur kegiatan.

Materi Penelitian

Kit Hidroponik

Obyek penelitian ini adalah empat kit hidroponik yang menjalankan teknik *Deep Flow Technique* (DFT), yaitu mensirkulasikan larutan nutrisi dan aerasi secara kontinu pada rangkaian aliran tertutup.

Kit 1 dan 2 disatukan dan selanjutnya disebut sistem A. Sistem ini ditempatkan pada lokasi -6,892LU; 107,608BT. Lokasi ini merupakan pelataran gedung di tingkat 4 dengan penyinaran matahari langsung pada pagi sampai siang hari. Karena itu, kit ini dibuat sebagai sistem terbuka dengan atap untuk melindungi sistem dari curah hujan dan sinar matahari langsung. Kit 3 dan 4 juga disatukan dan disebut sistem B. Sistem ini terletak pada lokasi -6.928LU; 107.769BT yang terpisah sejauh 18 km dari lokasi A. Di lokasi ini, sistem B berada dalam sebuah *screen house*, sehingga tidak diberi atap. Peta lokasi kedua sistem ditunjukkan pada Gambar 1. Kondisi kedua sistem pada awal penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.a-b.

Pada seluruh kit diterapkan teknik DFT melalui empat saluran pemipaan. Pipa tersebut dimiringkan sekitar 5° sehingga larutan mengalir dari jalur teratas ke jalur

terbawah karena pengaruh gravitasi bumi dengan laju alir sekitar 7 liter per menit.

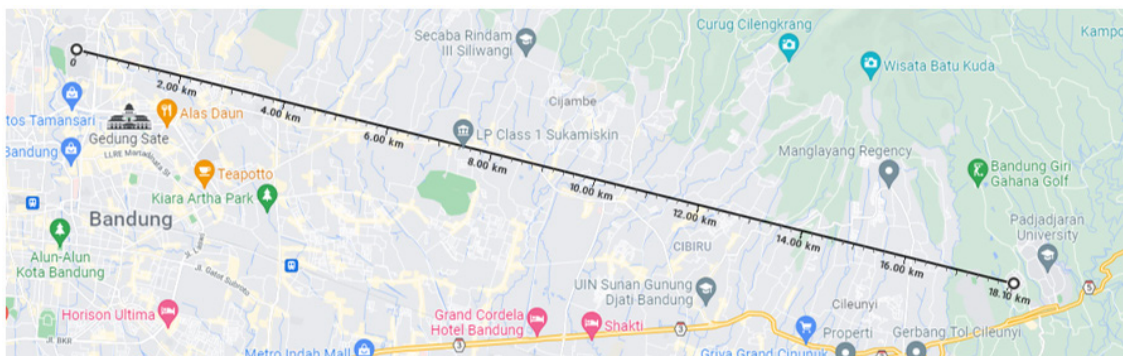
Tanaman dan Larutan Nutrisi

Tanaman pada penelitian ini adalah Pakcoy (*Brassica rapa subsp.chinensis*). Tanaman ini ditunaskan selama tujuh hari, kemudian dipindah tanamkan ke sistem A dan sistem B. Pengamatan berlangsung selama 17 hari sejak pindah tanam. Nutrisi yang digunakan adalah larutan AB mix dan Pupuk Organik Cair.

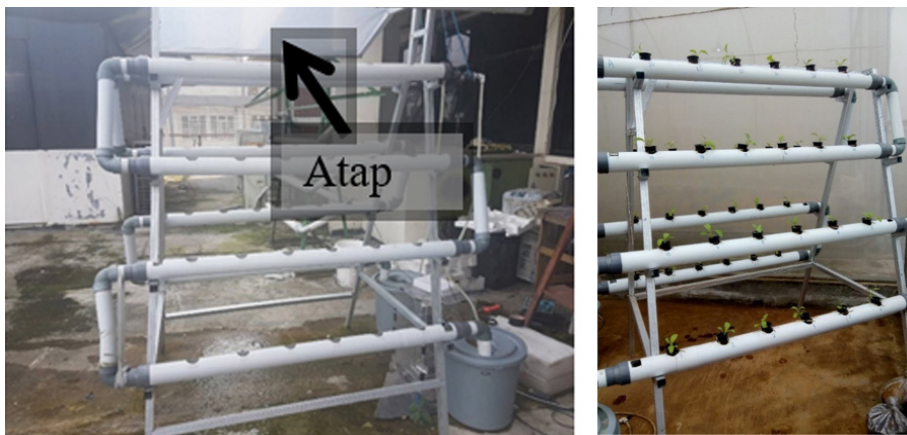
Metode Penelitian

Besaran yang Dipantau

Besaran yang dipantau meliputi sifat fisik lingkungan yaitu suhu; sifat fisik larutan nutrisi, yaitu suhu, ketinggian permukaan dan laju alir; serta sifat kimiawi larutan nutrisi yaitu keasaman dan elektrokonduktivitas. Analisis kinerja sistem ini difokuskan pada ketepatan pengukuran per-sistem (Cofta *et al.*, 2021). Adapun analisis perlakuan larutan nutrisi dan iklim mikro lokasi terhadap pertumbuhan tanaman dilaporkan secara terpisah pada Nuzwar *et al.* (2019).



Gambar 1. Lokasi dan Jarak Sistem Hidroponik



(a) Sistem A, dengan atap

(b) Sistem B di dalam *Screen House*

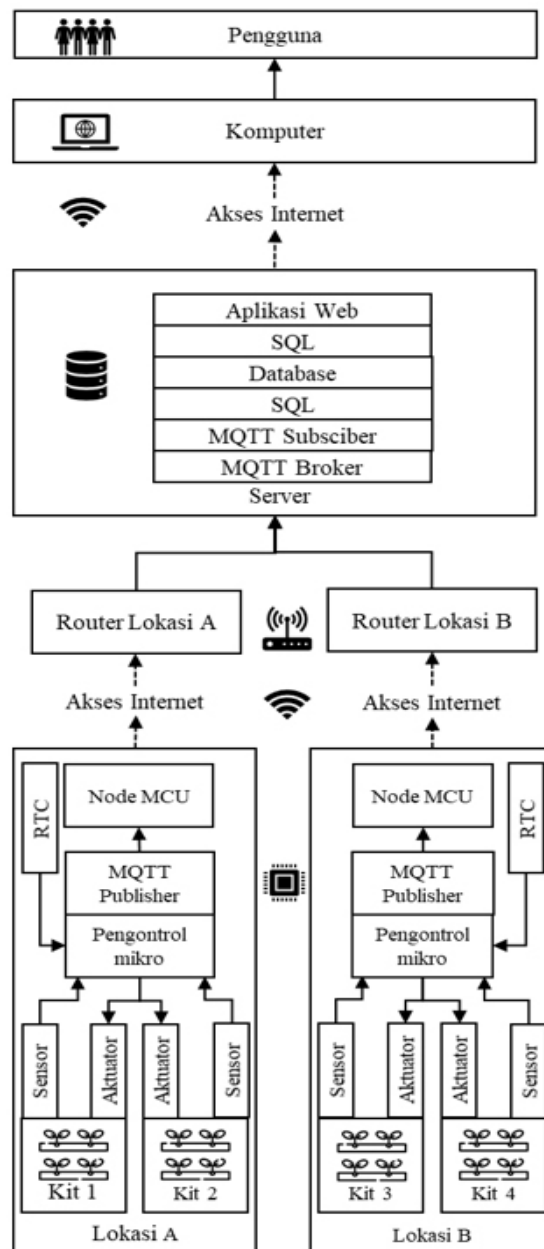
Gambar 2. Sistem Hidroponik DFT yang Diteliti

Arsitektur Sistem Pemantauan

Sistem pemantauan dibangun dengan arsitektur *Internet-of-Things* (IoT). Sistem ini mentransmisikan data sistem melalui jaringan internet institusional menuju server, dan dapat diakses oleh pengguna melalui *dashboard* pada aplikasi web. Sistem ini dibangun berdasarkan konsep *IoT Sensor Network* (Cofta *et al.*, 2021), dengan prinsip menggunakan sensor dan aktuator yang tersedia di pasaran sehingga fleksibel dalam pemeliharaan dan penggantian elemen sistem. Model komunikasi data yang digunakan adalah TCP/IP dengan topologi *star* (Gerber dan Romeo, 2017) seperti pada Gambar 3.

Model TCP/IP meliputi empat lapisan perangkat komunikasi data. Lapisan pertama adalah *Network Access*

and *Physical*, yang menentukan cara data dari sensor mencapai jaringan melalui perangkat keras yang tersedia. Lapisan kedua adalah *Internet Layer*, yang menentukan pengalaman fisis paket data di sumber dan tujuan. Lapisan ketiga adalah *Transport*, yang menentukan pemaketan data antara sumber dan tujuan, dengan kriteria keandalan, penghindaran sumbatan, dan jaminan bahwa paket akan diterima sesuai urutan pengiriman. Lapisan keempat adalah *Application*, yang mengatur pertukaran pesan dalam skala aplikasi. Pemrosesan data dalam keempat lapisan komunikasi data ini menentukan durasi akuisisi dan transmisi data dari sensor sampai dengan penayangannya pada antarmuka komputer yang diakses pengguna.



Gambar 3. Arsitektur Sistem

Instrumen

Akuisisi, transmisi, penyimpanan dan penampilan data dilaksanakan oleh sensor, aktuator, pengontrol, pengirim data dan server yang tercantum pada Tabel 1. Satu sistem hidroponik menggunakan satu sensor suhu lingkungan, serta sepasang sensor suhu nutrisi, aliran nutrisi, pH dan EC. Aktuator terdiri dari dua pompa yang mensirkulasikan larutan nutrisi di masing-masing kit. Pemilihan sensor dan aktuator ini sejalan dengan penelitian Helmy *et al.* (2017), Ruengittinun *et al.* (2017) serta Kaewwiset dan Yooyativong (2017).

Pengontrol mikro yang dipakai adalah Arduino Mega 2560 (Arduino, 2017). Pada pengontrol ini terdapat jumlah pin dan kapasitas memori yang cukup untuk akuisisi data seluruh sensor dan aktuator pada satu sistem hidroponik.

Sensor pH dan EC terhubung dengan pin analog pengontrol. Kedua sensor mengirim sinyal skala 0-1023 untuk pH dan EC terukur. Karena itu, pengontrol mikro diprogram untuk mengkonversi nilai tersebut ke skala 0 - 14 untuk pH dan 0 - 4 mS/cm untuk EC.

Tabel 1. Perangkat Sensor, Aktuator, Pengontrol dan Komunikasi Data

Fungsi	Gambar produk
Sensor suhu lingkungan DHT22	
Sensor suhu larutan nutrisi DS18B20	
Sensor keasaman larutan nutrisi Analog pH Sensor Pro Kit V2	
Sensor elektrokonduktivitas larutan nutrisi Analog Conductivity Meter	
Sensor laju aliran larutan nutrisi YF-S201	
Sensor tinggi permukaan larutan nutrisi XKC-Y25-T12V	
Aktuator: Pompa aliran nutrisi	
Pengontrol mikro Arduino Mega 2560	
Penunjang: Modul RTC DS3231	
Transmisi data: Node MCU ESP8266	
Server: Intel Galileo	

Selanjutnya, sensor aliran dan suhu nutrisi, serta suhu lingkungan terhubung ke pin digital. Pengontrol mikro mempunyai pustaka bawaan untuk mengkonversi nilai tersebut ke nilai besaran terukur.

Pengontrol mikro juga terhubung dengan modul penunjang, yaitu modul *Real Time Clock* (RTC) DS3231 dan NodeMCU ESP8266. Modul RTC3231 menentukan sinkronisasi waktu akuisisi dan transmisi data oleh pengontrol mikro. NodeMCU ESP8266 mentransmisikan data dari pengontrol mikro menuju jaringan *WiFi* lokal. Data ini akan ditangkap oleh router di lokasi A dan B, kemudian diteruskan ke *server* melalui jaringan internet institusional.

Server yang mengolah keseluruhan data adalah *Single Board Computer* (SBC) Intel Galileo (Sousa, 2015). *Server* ini menerima data dari Sistem A dan B melalui jaringan internet.

Pemrograman

Untuk menjalankan seluruh fungsi arsitektur komunikasi data pada Gambar 3, dibangun empat program seperti pada Gambar 4, yaitu program akuisisi dan transmisi data pada pengontrol mikro, inisialisasi basis data pada server, penerimaan dan penyimpanan data pada server, serta antarmuka laman web.

Protokol komunikasi yang dipilih untuk menangani transmisi data dari sistem A dan B ke *server* adalah *Message Queueing Telemetry Transport* (MQTT). MQTT adalah protokol perpesanan dengan cara *publish/subscribe* (Banks *et al.*, 2019), yang dapat melayani

banyak publisher dan subscriber, sehingga cocok untuk memantau sistem di lokasi berbeda.

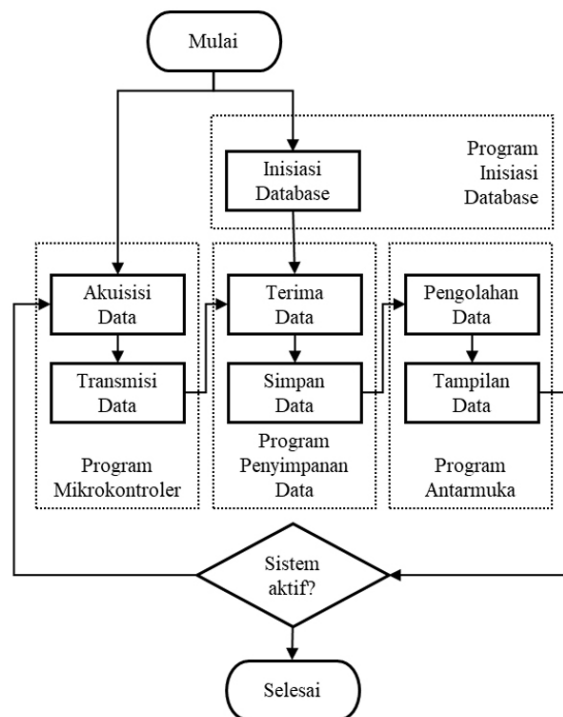
Pada pengontrol mikro selaku pengirim data, diprogramkan MQTT publisher. Kemudian pada *server* selaku penerima data, diprogramkan MQTT *broker* dan *subscriber*.

Akuisisi dan Transmisi Data

Program pertama menjalankan fungsi akuisisi data sensor oleh pengontrol mikro berdasarkan waktu cacah yang dipicu oleh modul *Real Time Clock* (RTC) DS3231 (Maxim Integrated Product, 2015). Data yang diakuisisi meliputi pH1, pH2, EC1, EC2, suhu lingkungan, suhu nutrisi, aliran nutrisi. Seluruh data ini dipaketkan menjadi satu besaran menggunakan pustaka JSON (Bray, 2017). Protokol MQTT *publisher* mengirim (*publish*) paket data tersebut. Selanjutnya, NodeMCU mentransmisikan sinyal paket data ke jaringan nirkabel *Wi-Fi* lokal. *Router* pada lokasi A dan B menangkap dan meneruskan sinyal tersebut melalui jaringan internet institusional menuju *server*.

Basis Data

Data diterima oleh *server* yang sebelumnya sudah terinisiasi. *Server* menerima paket data melalui MQTT *broker*. Paket ini diteruskan ke MQTT subscriber, yang memilah paket atas data individual dan mengirimnya ke basis data. Pemrograman penerimaan, pemilahan dan penyimpanan data pada *server* dilakukan dengan perangkat lunak Python dan pustaka SQLite (SQLite, 2018).



Gambar 4. Alur Program Komunikasi Data

Antarmuka

Data yang telah tersimpan di *server* perlu dipilah untuk dipanggil dan ditayangkan pada antarmuka laman web. Pemilihan dan pemanggilan data pada *server* juga dilakukan menggunakan pustaka SQLite.

Antar muka dibentuk menggunakan tiga perangkat lunak. Struktur laman dibentuk oleh HTML. Tata letak pada setiap laman diprogram menggunakan CSS. Interaksi tampilan dengan basis data termasuk visualisasinya menggunakan JavaScript Google Chart (Triawan *et al.*, 2016). Data diakuisisi dengan waktu cacah terkecil 1 menit sepanjang waktu pengoperasian sistem, yaitu sejak pindah tanam sampai dengan panen. Data yang ditampilkan terdiri dari nilai sesaat, serta nilai historikal dalam bentuk grafik. Untuk melayani keperluan analisis, data dapat ditampilkan dalam periode per-menit, per-jam atau per-hari.

Pengumpulan dan Analisis Data

Kualitas data yang ditampilkan sistem pemantau diuji dengan cara membandingkan antara data yang diakuisisi oleh sistem dan ditampilkan pada antar muka (y_m) dengan hasil pengukuran manual menggunakan sensor standar terkalibrasi (y_s) pada sistem A dan B secara manual. Pengukuran dengan sensor standar dilakukan pada pukul 08.00 wib setiap hari selama 17 hari. Data pengukuran tersebut (y_{si}) dibandingkan dengan data y_{mi} yang diakuisisi pada waktu yang sama.

Set data yang dibandingkan meliputi pH, EC, suhu nutrisi dan suhu lingkungan. Kesesuaian antar data dianalisis secara statistik menggunakan uji sebagai berikut:

1. Uji F untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara varians kedua set data. Perbedaan varians ini mengindikasikan perbedaan kualitas data pengukuran.
2. Uji *Student-t* dua sisi menggunakan asumsi kondisi varians sesuai hasil uji F. Perbedaan antara kedua set data mengindikasikan adanya perbedaan sistematis pada set data. Hal ini menjadi dasar tindakan kalibrasi terhadap sensor sistem pemantauan.

Selain kedua uji statistik tersebut, kesesuaian relatif antar set data $\overline{A_{ri}}$ juga dihitung menggunakan persamaan (1) – (2):

$$A_{ri} = \frac{y_{si} - |y_{si} - y_{mi}|}{y_{si}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\overline{A_{ri}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{ri}}{n} \quad (2)$$

$$i=0,1,2,3,\dots,17$$

Nilai kesesuaian yang lebih dari 98% menunjukkan kesesuaian yang baik antara hasil pengukuran oleh sistem pemantauan dengan sensor standar.

Penentuan Periode Pencacahan Data

Modul RTC yang memicu akuisisi data pada pengontrol mikro mampu bekerja dengan periode 1 detik. Namun terdapat pula proses transmisi data melalui empat lapisan komunikasi data sesuai model TCP/IP (Gerber dan Romeo, 2017). Lama transmisi data dalam setiap lapisan ini diperhitungkan dalam memilih periode pencacahan data untuk menjamin seluruh proses akuisisi dan transmisi data berjalan lengkap sampai penayangan data di antarmuka.

Pada lapisan pertama (*Access and Physical*), yang meliputi inisiasi koneksi internet, akuisisi data sensor dan transmisi data ke jaringan internet, NodeMCU membutuhkan waktu 30 detik sejak perintah pengiriman diberikan untuk menginisiasi koneksi dan menyelesaikan transmisi paket data.

Pada lapisan kedua dan ketiga (*Internet Layer and Transport*) yang meliputi transmisi data dalam jaringan internet dan penerimaan data oleh server, waktu yang dibutuhkan dalam satuan milidetik.

Pada lapisan keempat (*Application*), yang meliputi pemrosesan penyimpanan data pada basis data, serta tampilan pada antar muka, waktu yang diperlukan sebesar 1-5 detik tergantung banyaknya data yang dibaca dan ditampilkan.

Dengan demikian, total waktu untuk keseluruhan transmisi dan pengolahan data adalah 31-35 detik. Untuk mengakomodasi seluruh durasi pemrosesan data serta mengantisipasi berbagai ketidakpastian terkait komunikasi data melalui *IoT Sensor Network* (Cofta *et al.*, 2021), maka dipilih periode cacah terkecil 1 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan Antarmuka

Gambar 5.a – b menunjukkan tampilan antarmuka sistem pemantauan hidroponik multilokasi. Gambar 5.a menunjukkan laman utama yang menyediakan menu akses informasi meliputi nilai sesaat maupun nilai historikal untuk setiap besaran fisis dalam bentuk grafik. Contoh grafik konduktivitas larutan nutrisi ditunjukkan pada Gambar 5.b. Pada laman utama tersedia pula tombol untuk memilih sistem hidroponik yang akan dipantau kondisinya. Data pengukuran juga dapat diunduh ke format csv untuk analisis lebih lanjut.

Analisis Kualitas Data

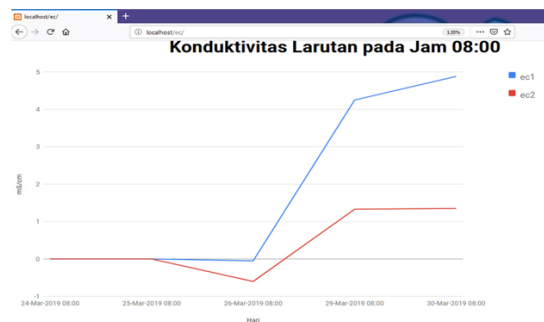
Gambar 6.a-g menunjukkan data suhu nutrisi, pH, EC dan suhu lingkungan sistem A dan B selama 17 hari setelah pindah tanam pada setiap jam 08.00 wib. Data ini dibandingkan dengan hasil pengukuran oleh sensor

standar terkalibrasi pada waktu yang sama. Secara visual, tampak kesesuaian yang baik antara set data di setiap grafik.

Hasil perhitungan statistik dan kesesuaian data dirangkum pada Tabel 2. Hasil uji F dengan tingkat kepercayaan 95% terhadap pengukuran suhu, pH dan

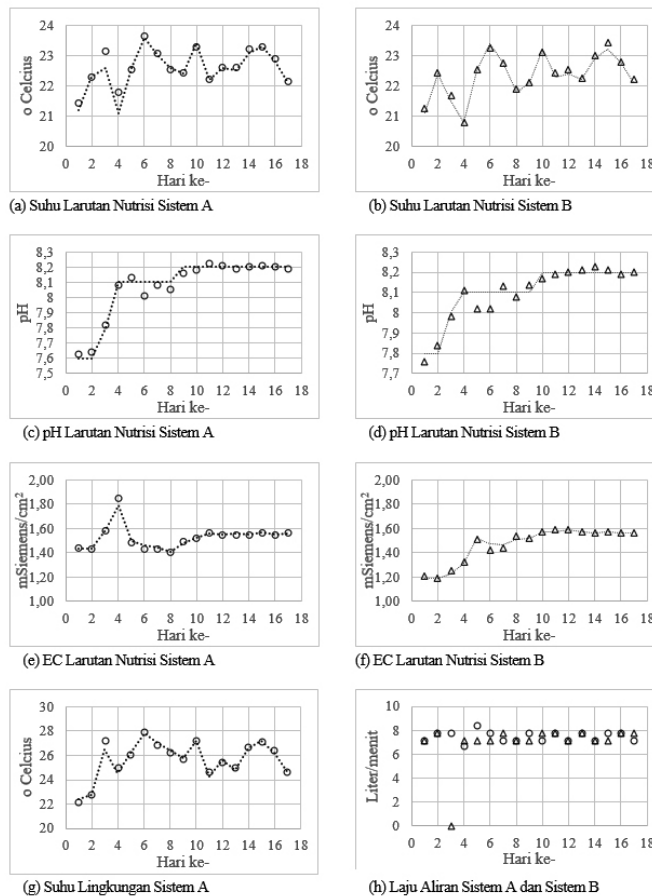


(a) Menu Utama



(b) Grafik Data Historikal

Gambar 5. Tampilan Laman Web



Gambar 6. Pemantauan Larutan Nutrisi dan kondisi lingkungan pada Sistem A dan B tiap Jam 08.00 wib Selama 17 hari

· · · : Hasil Pengukuran Sensor Standar Sistem A, - - - : Hasil Pengukuran Sensor Standar Sistem B
 ° ° ° : Hasil Pemantauan Sistem A Δ Δ Δ : Hasil Pemantauan Sistem B

Tabel 2. Kinerja Sistem Pemantauan

Sensor	Uji F		Uji Student -t		Kesesuaian relatif (%)
	F_{crit} (95%)	F_{test}	t_{crit} (95%)	t_{stat}	
Suhu Larutan Nutrisi (A)		1,359		-0,482	99,4%
Suhu Larutan Nutrisi (B)		1,100		-0,247	99,6%
pH (A)		1,130		0,086	99,7%
pH (B)	0.362 - 2,761	0,911	$\pm 2,037$	0,155	99,7%
EC (A)		0,736		0,023	99,3%
EC (B)		1,070		0,001	99,1%
Suhu Lingkungan (A)		0,955		-0,087	99,2%

EC larutan nutrisi serta suhu lingkungan menunjukkan bahwa variansi pengukuran oleh sensor standar terkalibrasi tidak berbeda signifikan dengan variansi pengukuran sistem pemantauan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai F_{test} yang berada pada rentang nilai F_{crit} . Hasil ini menunjukkan bahwa presisi kedua metode pengukuran tidak berbeda signifikan.

Karena itu, analisis dilanjutkan dengan uji *Student-t* dengan asumsi variansi sama untuk seluruh set data pengukuran. Uji ini juga menunjukkan bahwa hasil pengukuran kedua sistem tidak berbeda signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai t_{stat} yang berada dalam rentang t_{crit} untuk seluruh pengukuran. Dengan demikian, tidak terdapat perbedaan sistematis antara kedua hasil pengukuran.

Kesesuaian relatif rata-rata seluruh pengukuran juga di atas 99%. Seluruh analisis ini menunjukkan kinerja sistem pemantauan dalam mengukur seluruh besaran tersebut sangat baik dan karena itu dapat menggantikan pengukuran besaran secara manual.

Pemantauan kinerja pompa aliran nutrisi pada Sistem A dan B ditunjukkan pada Gambar 6 h. Grafik menunjukkan bahwa pompa pada Sistem A berfungsi konsisten selama masa pengujian, sedangkan pompa Sistem B sempat mengalami putus daya pada hari ketiga. Namun hal ini langsung terdeteksi dan perbaikan dilakukan sehingga pompa bekerja kembali untuk pengamatan hari keempat dan seterusnya. Putus daya ini hanya terjadi pada pompa dan tidak pada rangkaian sensor Sistem B, sehingga kualitas pemantauan besaran lain tidak terganggu.

Periode Pencacahan Data

Telah dipilih periode pencacahan data 1 menit untuk mengakomodasi seluruh pemrosesan data yang terjadi dalam sistem pemantauan ini. Mengingat lokasi yang dipantau terpisah sejauh 18 km, waktu cacah 1 menit ini memungkinkan sistem mendeteksi dan merespon berbagai perubahan pada lingkungan maupun pada nutrisi

di kedua lokasi dengan efisien. Periode pencacahan data ini juga mengakomodasi pengembangan lanjut sistem pemantauan ini untuk pengendalian kadar nutrisi dan lingkungan sekitar tanaman.

Ketahanan Sistem Pemantauan

Pengujian sistem pemantauan yang berlangsung selama 24 jam dalam 17 hari menunjukkan bahwa sistem ini siap dioperasikan dalam jangka panjang. Data historikal yang tersimpan di webservice dapat diolah lebih lanjut untuk keperluan pemodelan serta pengendalian pertumbuhan tanaman dalam sistem hidroponik.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, telah dibangun platform dan sistem pemantauan kondisi sistem hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk dua lokasi yang terpisah sejauh 18 Km. Sistem ini beroperasi pada jaringan internet institusional menggunakan protokol *Message Queueing Transport Telemetry* (MQTT) dengan pola *Publish-Subscribe*.

Manfaat sistem ini adalah mengakomodasi kebutuhan penelitian terhadap pengaruh perlakuan nutrisi maupun mikroklimat yang berbeda pada sistem hidroponik. Sistem hidroponik yang diteliti juga dapat berada di lebih dari satu lokasi, selama mempunyai akses ke jaringan internet.

Pengujian yang berlangsung selama satu siklus panen menunjukkan bahwa kinerja pengukuran yang meliputi besaran suhu, pH, EC larutan nutrisi serta suhu lingkungan sangat baik dan dapat menggantikan pengukuran secara manual. Seluruh besaran di atas dan laju aliran nutrisi ditayangkan pada antarmuka laman web, dan dapat diakses pengguna berupa data sesaat dan grafik perubahan terhadap waktu, dengan periode pencacahan data 1 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino. 2017. Getting started with Arduino MEGA2560. Arduino.CC. <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoMega2560>.
- Banks, A., E. Briggs, K. Borgendale, dan R. Gupta. 2019. MQTT Version 5.0, OASIS. <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>.
- Bray, T. 2017. The Javascript Object Notation (JSON) data-interchange format. IETF. <https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc8259.txt.pdf>.
- Changmai, T., S. Gertphol, dan P. Chulaka. 2018. Smart hydroponic lettuce farm using internet of things. 10th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST). IEEE Explore.
- Cofta, P., K. Karatzas, dan C. Orłowski. 2021. A Conceptual Model of Measurement Uncertainty in IoT Sensor Networks. Sensors.
- Crisnapati, P.N., I. N. K Wardana, I.K.A.A. Aryanto, dan Hermawan. 2017. Hommons: Hydroponic management and monitoring sistem for an IOT based NFT farm using web technology. 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM). IEEE Explore.
- Farizi, F.F. 2018. Sistem monitor dan kendali hidroponik NFT: Perancangan dan implementasi subsistem kondisi tanaman dan pengendalian kadar nutrisi. Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung.
- Gerber, A. dan J. Romeo. 2017. Connecting all the things in the internet of things. IBM Developer. <https://developer.ibm.com/articles/iot-lp101-connectivity-network-protocols/>
- Gorbe, E. dan A. Calatayud. 2010. Optimization of nutrition in soilless systems: a review. Advances in Botanical Research.
- Helmy, Mahaidayu, M.G., T.A Setyawan, dan A. Hasan. 2017. Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic monitoring system based on wireless sensor network. IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat). IEEE Explore.
- Jones, J.B.Jr. 2004. Hydroponics: A practical guide for the soilless grower. CRC Press.
- Kaewwiset, T. dan T. Yooyativong. 2017. Electrical conductivity and pH adjusting system for hydroponics by using linear regression. 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). IEEE Explore.
- Maxim Integrated Products. 2015. DS3231: Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal. Maxim Integrated. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- Nuzwar, A., A. Dwiartama, dan E. Ekawati. 2019. Model matematis pertumbuhan tanaman Pakcoy (*Brassica rapa subsp.chinensis*) pada sistem hidroponik Deep Flow Technique menggunakan ABmix dan pupuk organik cair di ITB Ganesha dan Jatinangor. Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati Institut Teknologi Bandung.
- Pitakphongmetha, J., N. Boonnam, S. Wongkoon, T. Horanont, D. Somkiadcharoen, dan J. Prapakornpilai. 2016. Internet of things for planting in smart farm hydroponics style. Computer Science and Engineering Conference (ICSEC). IEEE Explore.
- Ramadhan, A. 2018. Sistem Monitor dan Kendali Hidroponik NFT: Perancangan dan Implementasi Subsistem Pengendali pH dan Pengendali Suhu. Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung.
- Ruengittinun, S., S. Phongsamsuan, dan P. Sureeratanakorn. 2017. Applied Internet of Thing for smart hydroponic farming ecosystem (HFE). 10th International Conference on Ubi-media Computing and Workshops (Ubi-Media). IEEE Explore.
- Sousa, M. 2015. Internet of things with Intel Galileo. Packt Publishing.
- SQLite. 2018. About SQLite. SQLite.org. <https://www.sqlite.org/about.html>
- Triawan, M.A., H. Hindersah, D. Yolanda, dan F. Hadiatna. 2016. Internet of Things using publish and subscribe method cloud-based application to NFT-based hydroponic. 6th International Conference on Sistem Engineering and Technology (ICSET). IEEE Explore.