

Otomasi Dan Pemantauan Budidaya Tanaman Hidroponik Dengan Teknik NFT Pada *Indoor Vertical Farming* Berbasis ESP32

Mohd. Ilyas Hadikusuma*¹, Muhammad Ridhwan Sufandi², Abu Bakar³

^{1,2,3} Politeknik Negeri Pontianak; Jl. Jendral Ahmad Yani,

e-mail: *¹Mohd.Ilyas.Hadikusuma@Gmail.com, ²mr.sufandi86@Gmail.com, ³a_bukatek@yahoo.co.id

Abstrak

Beberapa inovasi teknologi dalam budidaya tanaman sayur hidroponik dilakukan secara outdoor dengan tujuan agar mendapatkan perlakuan yang lebih alami. Tetapi, metode tersebut menuntut perhatian yang lebih sehingga terhindar dari potensi kerugian seperti penyakit tanaman, iklim yang tidak menentu, dan sebagainya. Dalam penelitian ini, diaplikasikan metode indoor vertical farming pada pembudidayaan sayur Selada secara hidroponik dengan teknik Nutrient Film Techniques. Proses pengendalian dan pemantauan dilakukan secara real time dengan melibatkan beberapa teknologi semi industri seperti sensor, modul Arduiono dan ESP 32 serta teknologi Internet of Things. Sensor yang digunakan mengukur kelembaban udara, suhu air, pH, serta TDS dengan nilai set point telah diatur sesuai kebutuhan tanaman Selada, yaitu secara berturut-turut sebesar 80%; 26°C; 8; dan 560 ppm. Data yang terbaca oleh sensor telah berhasil dikirim ke platform ThingsBoard dan modul LCD HMI Nextion. Persen error secara keseluruhan dari data pembacaan sensor berkisar antara 0,16% sampai dengan 4,70%. Kepresisian sensor diperoleh sebesar 1,809 % dengan perhitungan pooled relative standard deviation. Di masa mendatang, perlu dikembangkan penerapan perlakuan cahaya buatan dan pemanfaatan gas tertentu yang kemungkinan mampu mempengaruhi pertumbuhan tanaman hidroponik.

Kata Kunci : *Indoor vertical farming*, hidroponik, *internet of things*, ThingsBoard, HMI Nextion

Abstract

Some of technological innovations in cultivating hydroponic vegetable plants are conducted outdoors in order to get more natural treatment. However, this method requires more attention to avoid potential losses such as plant disease, uncertain climate, and so on. In this research, the indoor vertical farming method was applied to the hydroponic cultivation of lettuce using the Nutrient Film Techniques technique. The control and monitoring process is carried out in real time by involving semi-industrial technology such as sensors, Arduino and ESP 32 modules, and Internet of Things technology. The sensors used measure humidity, water temperature, pH and TDS with set point values that have been set according to the needs of the lettuce plant, those are respectively 80%; 26°C; 8; and 560 ppm. The data read by the sensor has been successfully sent to the ThingsBoard platform and LCD HMI Nextion module. The overall percent error of sensor reading data were range from 0.16% to 4.70%. The sensor precision was at 1.809% by the pooled relative standard deviation calculation. In the future, it is necessary to develop the application of artificial light treatment and the use of certain gas, which may be able to influence the growth of hydroponic plants.

Keywords: *Indoor vertical farming*, hydroponics, *internet of things*, ThingsBoard, HMI Nextion

1. PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir, metode bertani secara *indoor*, khususnya tanaman sayur hidroponik, menjadi sebuah tren bagi sebagian masyarakat.[11],[12] Hal ini tentunya bukan tanpa alasan. Pesatnya pembangunan kawasan perumahan, pusat perbelanjaan dan kegiatan masyarakat perlahan menggerus jumlah kawasan hijau produktif. Di samping itu, bahaya pandemi Covid-19 dan mutasinya masih patut diwaspadai yang mengakibatkan ruang gerak aktifitas masyarakat menjadi terbatas. Kedua kondisi tersebut menghendaki para petani dan penggiat tanaman pertanian untuk melakukan berbagai inovasi pertanian sebagai langkah menjaga ketahanan pangan.[12],[13] Terdapat keuntungan dari metode bertani secara *indoor* dibandingkan secara *outdoor*. Bertani dengan metode *indoor*, tidak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti perubahan iklim dan temperatur. Kegiatan bertani tersebut dapat dilakukan di dalam rumah ataupun di dalam ruangan tanpa terpapar sinar matahari langsung. Akan tetapi, metode bertani secara *indoor* tetap harus menyediakan kondisi yang mirip dengan metode bertani secara *outdoor*. [15] Dalam budidaya tanaman sayur hidroponik, beberapa parameter penting seperti nilai pH air, kadar nutrisi, dan suhu dapat dikondisikan sehingga menyerupai dengan kondisi *outdoor*. Hanya saja, sinar matahari yang berperan dalam proses fotosintesis, digantikan dengan memanfaatkan intensitas cahaya buatan (*artificial lighting*). Semua parameter penting tersebut dapat dikendalikan secara seimbang dan otomatis dengan menerapkan teknologi elektronika modern yang dikolaborasi dengan pemanfaatan teknologi Internet of Thing. [14]

1.1 *Indoor Vertical Farming*

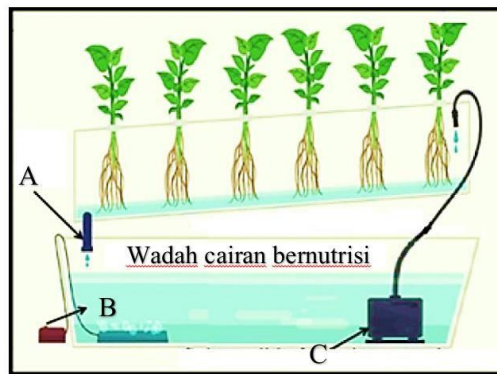
Metode bertani *indoor vertical farming* merupakan satu dari sekian konsep *urban farming*. Metode tersebut pada dasarnya memberdayakan lahan pertanian buatan yang disusun secara bertingkat-tingkat di dalam sebuah ruangan yang biasanya tidak terpapar cahaya matahari secara langsung. Metode bertani *indoor vertical farming* memiliki keunggulan dan juga keterbatasan sebagaimana dipaparkan pada tabel 1. [16] Adapun parameter yang mempengaruhi kondisi lingkungan yang digunakan pada *indoor vertical farming* dibuat secara tiruan (*artificial*) dan dapat dikendalikan. [3]

Tabel 1. Keunggulan dan keterbatasan *Indoor Vertical Farming*

Keunggulan	Keterbatasan
- Terlindung dari serangan hama	- Konsumsi energi tinggi
- Tidak dipengaruhi kondisi alam	- Biaya operasional relatif tinggi
- Panen stabil dan dapat berlangsung sepanjang tahun	- Hanya cocok untuk sebagian tanaman tertentu

1.2. Teknik *Nutrient Film Technique* (NFT)

Budidaya tanaman hidroponik merupakan sebagian contoh hortikultura dengan menggunakan media tanam berupa cairan bernutrisi guna menggantikan tanah dan dapat dilakukan baik secara *indoor* maupun *outdoor*. [1],[2] Terdapat beberapa teknik hidroponik yang kerap diterapkan dan salah satunya adalah dengan teknik *Nutrient Film Technique* (NFT). [1],[2],[4] Teknik NFT dilakukan dengan mengalirkan cairan yang berisi konsentrasi nutrisi tertentu sesuai dengan kebutuhan jenis tanaman yang dibudidayakan. Model dari sistem NFT diperlihatkan pada gambar 1. [2]



Gambar 2. Model hidroponik dengan teknik NFT [2]

Keterangan :

- A. Saluran pipa kembali
- B. Pompa udara (aerasi)
- C. Pompa air rendam (*immersed pump*)

1.3. Inovasi Teknologi Pertanian

Inovasi teknologi dalam bidang pertanian, berupa teknik pengendalian dan pemantauan, selalu dikembangkan dengan tujuan agar pertanian yang berkelanjutan (*sustainable agriculture*) dapat diwujudkan.[17] Inovasi tersebut melibatkan beberapa piranti sensor guna mengakusisi data besaran fisika maupun kimia, seperti kadar pH, nilai kelembaban udara dan suhu.[14] Semua data tersebut seterusnya diolah melalui teknologi berbasis *processor* sehingga mampu menghasilkan data yang mudah dianalisis oleh pengguna. Bahkan, beberapa penelitian terakhir menunjukkan keterlibatan teknologi informasi di bidang pertanian. Dalam penelitian ini, sebagian piranti pendukung otomasi dan teknologi informasi tersebut diuraikan sebagai berikut.

1.3.1. Piranti Sensor

Beberapa parameter yang diukur melalui sensor pada proses otomasi monitoring dalam budidaya pertanian, khususnya tanaman hidroponik, antara lain derajat zat alkali (pH) dalam air, kepekatan cairan (PPM) yang dipengaruhi konsentrasi nutrisi serta nilai kelembaban dan temperatur.[5],[6],[9],[10] Ketidaksiharian nilai pH dan PPM mampu mempengaruhi pertumbuhan tanaman.[7] Adapun sensor yang digunakan dalam pengukuran ketiga parameter tersebut memiliki tipe dan harga yang beraneka sesuai fungsi serta area pengaplikasiannya. Salah satu tipe sensor pH yang tersedia dan sering digunakan yaitu pH Sensor analog SN0169 yang memiliki kisaran ukur pH sebesar 0 – 14 dan menghasilkan output berupa data / sinyal analog dengan waktu respon kurang dari 1 menit.[25] Untuk pembacaan nilai PPM (kadar nutrisi), digunakan analog TDS meter SN0244 yang dapat mengidentifikasi tingkat kekeruhan air. Semakin keruh air, maka identifikasi kadar material yang terlarut semakin tinggi. Sensor TDS ini dilengkapi dengan probe anti air dan memiliki kemampuan pembacaan berkisar antara 0 - 1000 ppm. [27] Sedangkan untuk pengukuran kelembaban dan suhu, dimanfaatkan sensor DHT20 dan DS18B20. Sensor DHT20, dapat mengukur kelembaban dan suhu di udara dengan tingkat keakuratan sekitar 5 %.[27] Adapun DS18B20 merupakan sensor suhu air yang memiliki keakuratan pembacaan tinggi, yaitu sekitar 0.5 %.[28]

1.3.2. Modul Arduino Nano

Modul Arduino Nano merupakan salah satu produk pengembangan yang dikenalkan sejak tahun 2008. Dimensi Arduino Nano dibuat lebih kecil dari generasi lainnya agar dapat digunakan pada *breadboard* sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan eksperimen secara langsung. [18] Chip CPU yang digunakan pada *minimum system* ini adalah mikrokontroler ATmega328 yang bekerja dengan frekuensi *clock* sebesar 16 MHz.

1.3.3. Modul DoIT ESP32 DEVKIT

Modul minimum sistem ini dibuat dan dikembangkan oleh perusahaan Espressif System yang berlokasi di Shanghai dan difabrikasi oleh *Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Limited* (TSMC). [19] Modul ini merupakan modul mikrokontroler dengan fungsi tambahan, yaitu memiliki fitur *Wi-Fi* dan *Bluetooth*. Di samping itu, modul ini memungkinkan pengguna untuk langsung melakukan eksperimen di atas *breadboard*. Pemrograman minimum sistem ini dapat dilakukan melalui Arduino IDE maupun MicroPython.

1.3.4. Modul RTC DS3231

Modul Real Time Clock (RTC) DS3231 dimanfaatkan untuk implementasi sebuah sistem *hardware* elektronika yang memerlukan pencatatan dan perekaman secara nyata atau sebenarnya terhadap informasi mengenai waktu, tanggal dan temperatur melalui komunikasi serial Inter Integrated Circuit (I2C). [29] Modul ini memiliki dua komponen utama, yaitu IC DS3231 dan IC AT24C32 yang masing-masing difungsikan sebagai pewaktu dan penyimpan data (EEPROM). Dengan bantuan baterai, modul ini dapat terus mencatat dan merekam informasi waktu dan suhu meskipun terjadi gangguan pada sumber daya dari sebuah perangkat keras sistem elektronika.

1.3.5. Modul HMI Touchscreen NX4832T035 011R

Modul HMI NX4832T035 merupakan HMI *touchscreen* yang dapat dikolaborasikan dengan perangkat mikrokontroler Arduino dan ESP32 untuk keperluan aplikasi *Internet of Things* (IoT). Gambar 3 memperlihatkan bentuk fisik dari modul HMI NX4832T035 011R.



Gambar 3. Bentuk fisik modul HMI NX4832T035 011R [32]

Komunikasi HMI dengan perangkat mikrokontroler dijumpai oleh komunikasi *serial* dengan nilai *baud rate* sebesar 9600 *bit per second* (bps). [20] Adapun pemrograman HMI NX4832T035 menggunakan *software Nextion Editor*.

1.3.6. ThingsBoard

Thingsboard merupakan salah satu *platform* teknologi *Internet of Things* (IoT) yang bersifat terbuka bagi pengguna untuk dikembangkan sesuai kebutuhan dalam menata, mengakses, serta menampilkan beberapa informasi atau data sebuah objek (*hardware* maupun *software*) melalui menu dashboard yang dimiliki oleh *ThingsBoard*. [22] Agar objek dan *cloud ThingsBoard* dapat saling bertukar dan mengakses (*publish* dan *subscribe*) informasi dari sebuah parameter, diperlukan bahasa *broker protocol* yang dikenali. [33] Dalam persepektif perangkat *hardware* ESP32, digunakan *broker protocol Mosquitto Message Queuing Telemetry Transport* (Mosquitto MQTT). [24]

2. METODE

Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui tiga tahapan yang dapat diuraikan sebagai berikut.

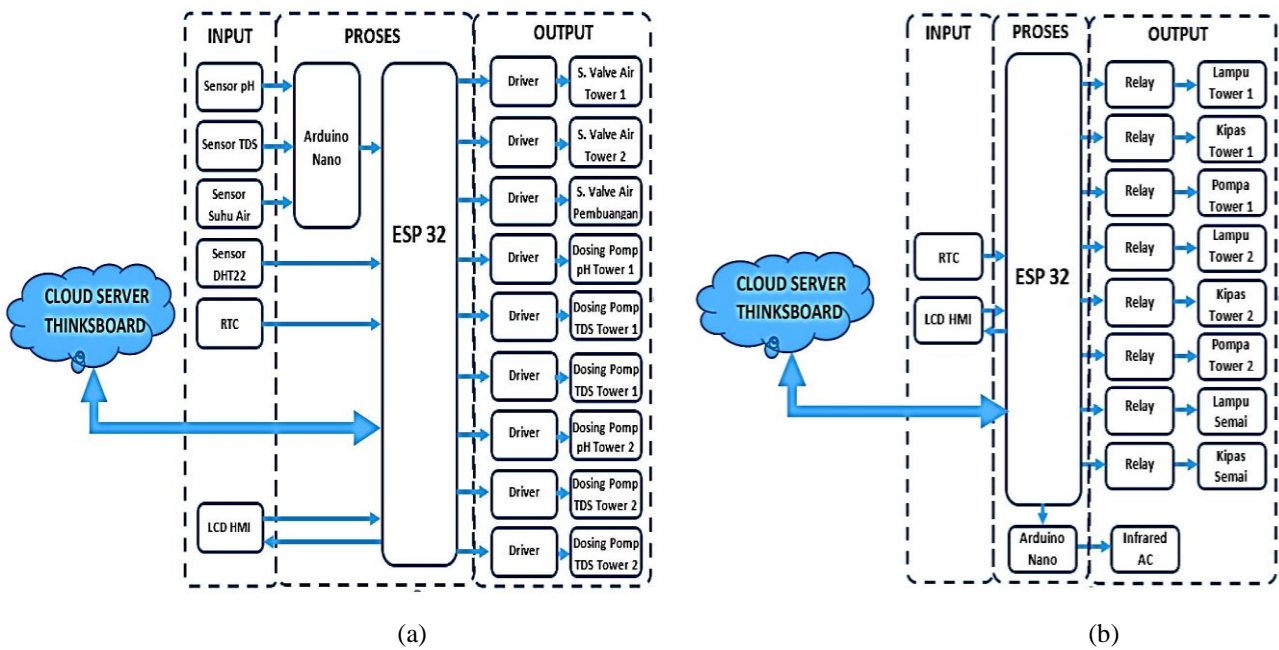
2.1. Tahapan Pendahuluan

Tahapan ini dimulai dengan menetapkan fokus dan tujuan riset yang diteruskan dengan mengobservasi, mengidentifikasi dan memverifikasi alur kerja sistem yang akan diwujudkan. Selanjutnya, dipelajari sumber penelitian baik primer maupun sekunder sehingga diperoleh beberapa luaran yang meliputi beberapa parameter yang ingin dikendalikan serta teknologi yang

digunakan. Berdasarkan jenis tanaman hidroponik yang dibudidayakan, ditetapkan parameter pengendalian untuk tanaman terkait, berupa pH, nutrisi dan suhu. Selain hal tersebut, juga dibuat perencanaan jalan riset berdasarkan fokus dan tujuan penelitian. Adapun semua luaran tersebut terangkum dalam blok diagram sistem seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

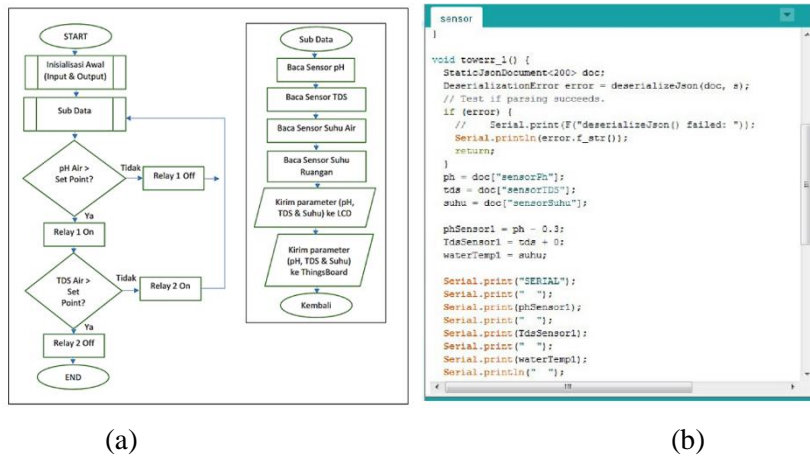
2.2. Tahapan *Prototyping*

Tahapan ini dilaksanakan dengan menerapkan rencana jalan penelitian yang sudah dirancang. Teknologi sensor yang digunakan dalam penelitian dikalibrasi, diuji serta didokumentasikan karakteristik responnya. Respon sensor yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan alat ukur standar dan dikalibrasi dengan pengaturan sejumlah nilai *offset* tertentu pada *script* program berdasarkan *datasheet* sensor. Beberapa revisi terhadap topologi rangkaian dan logika pemrograman dilakukan untuk mengatasi parameter luaran yang belum tercapai.



Gambar 6. Blok diagram sistem : Unit Kendali Utama (a) dan Unit Kendali Pendukung (b)

Di samping melakukan proses *prototyping* perangkat keras, dirancang pula pemrograman untuk mode pemantauan karakteristik respon sensor dan pengendalian beberapa aktuator sistem melalui perangkat HMI *Touchscreen* dan *platform Thingsboard*. Logika pemrograman dan cuplikan *script* program untuk metode kendali dan pemantauan sistem diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. (a) Diagram Alir Pemrograman; (b) Script program Arduino

Saat sistem diaktifkan, program akan mendeteksi keadaan awal dari perangkat input dan output yang digunakan. Seterusnya, beberapa sub data seperti pH, TDS, temperatur air dan ruangan akan dieksekusi. Hasil pembacaan dari beberapa proses eksekusi tersebut akan dikirimkan ke HMI LCD dan juga Cloud ThingsBoard. Selanjutnya, akan dibaca nilai pH terlebih dahulu. Jika terbaca nilai pH di atas set poin, maka relay yang digunakan oleh pompa dosing untuk mengurangi atau menurunkan kadar pH, akan menjadi aktif bekerja. Sebaliknya, relay tersebut akan off jika terbaca dibawah set poin. Selanjutnya, setelah membaca nilai pH, maka akan dibaca nilai ppm dari air. Jika nilai TDS melebihi set poin, maka relay yang digunakan untuk menambah nutrisi dalam air, akan aktif bekerja. Sebaliknya, relay tersebut akan off jika terbaca dibawah set poin. Adapun dalam penelitian ini, ditetapkan beberapa set poin untuk semua parameter yang dikendalikan seperti yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai dan Parameter Pengendalian Sistem

Parameter	Nilai set poin
pH air	8
Kadar konsentrasi nutrisi	560 ppm
Suhu air	26 °C
Kelembaban Udara	80 %

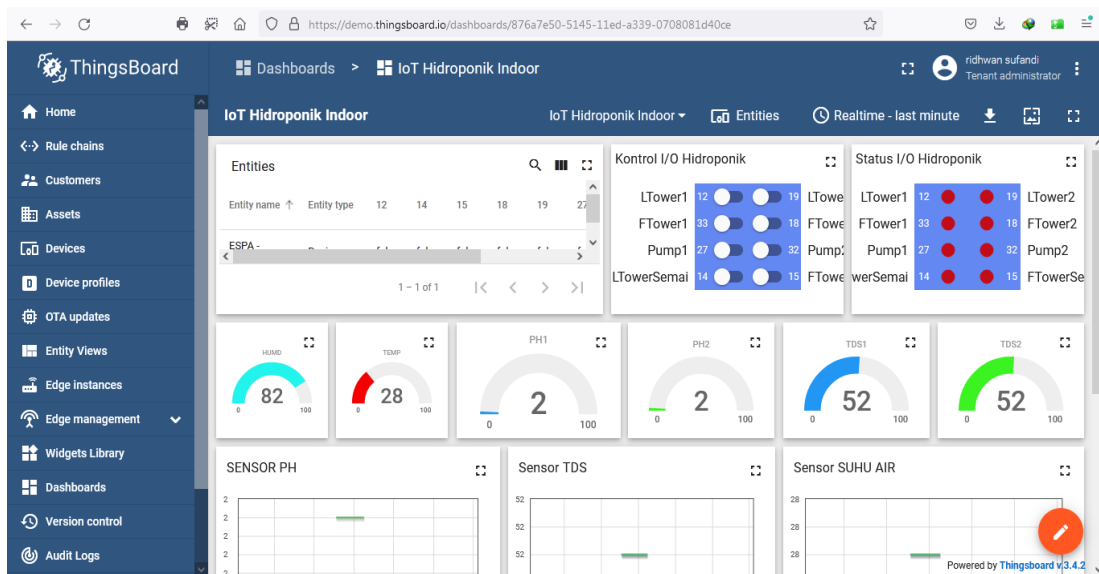
2.3. Tahapan Realisasi

Pada tahapan ini, keseluruhan sistem dibuat menjadi sebuah produk utuh dan terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things*. Setelah itu, dilakukan pengujian sistem kembali untuk melihat keterbatasan serta kendala yang muncul. Perbaikan terhadap sistem tetap dilakukan meskipun hanya fokus pada gangguan yang ringan. Bersamaan dengan hal tersebut, dilakukan analisis terkait parameter yang dikendalikan dan dipantau.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Realisasi Sistem

Gambar 8 memperlihatkan keseluruhan produk penelitian yang telah berhasil dirancang dan dibangun.



(a)



(b)

(c)

Gambar 8: (a) Tampilan *ThingsBoard*, (b) Mekanik Produk, (c) Tampilan HMI Sistem

3.2. Pengujian Parameter Kendali

Pengujian beberapa parameter yang dikendalikan meliputi tingkat pH air, kadar nutrisi, suhu air serta kelembaban udara dan hasilnya diperoleh berdasarkan nilai respon yang terbaca oleh sensor saat diterapkan pada sistem. Gambar 9 memperlihatkan hasil pembacaan keempat jenis parameter kendali yang ditampilkan pada laman *ThingsBoard* dengan durasi cuplik setiap 5 menit.

Entities														
Entity name ↑	Entity type	Humd	pH1	pH2	SAir1	SAir2	Tds1	Tds2	Sp_pH1	Sp_pH2	Sp_Tds1	Sp_Tds2	Sp_Tmr	
ESPB - Monitoring Sensor	Device	81.3	8.2	8.2	28	28	560.0	559.0	8.1	8.0	560.0	558.0	5	
ESPB - Monitoring Sensor	Device	80.8	8.1	8.2	27	26	559.0	556.0	8.0	8.0	558.0	554.0	5	
ESPB - Monitoring Sensor	Device	81.0	8.1	8.1	27	27	558.0	560.0	8.1	8.0	560.0	563.0	5	
ESPB - Monitoring Sensor	Device	81.0	8.2	8.2	28	28	559.0	562.0	8.2	8.1	562.0	563.0	5	
ESPB - Monitoring Sensor	Device	81.3	8.2	8.3	26	26	561.0	562.0	8.2	8.0	563.0	563.0	5	
ESPB - Monitoring Sensor	Device	80.0	8.2	8.2	27	28	563.0	563.0	8.1	8.2	563.0	562.0	5	
ESPB - Monitoring Sensor	Device	79.8	8.1	8.2	27	26	563.0	562.0	8.0	8.1	563.0	562.0	5	
ESPB - Monitoring Sensor	Device	79.9	8.1	8.2	28	28	562.0	562.0	8.0	8.2	560.0	560.0	5	
ESPB - Monitoring Sensor	Device	80.0	8.1	8.1	26	28	563.0	562.0	8.0	8.0	562.0	563.0	5	

Gambar 9: Nilai pembacaan sensor pada tampilan *ThingsBoard*

3.2.1. Tingkat Kepresisian dan Akurasi Sistem Sensor

Pada sistem yang sudah dibuat, dilibatkan empat jenis sensor untuk masing-masing pengukuran berupa sensor kelembaban DHT22, sensor pH analog SN0169, sensor suhu air DS18B20 dan sensor TDS Analog SN0224. Adapun hasil pembacaan semua sensor tersebut disajikan di dalam tabel 3.

Tabel 3. Nilai dan Parameter Pengendalian Sistem

No	Jenis Sensor	Set Poin	Hasil Pembacaan									Rerata
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Kelembaban	80	81.3	80.8	81	81	81.3	80	79.8	79.9	80	80.6
2	pH 1	8	8.2	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1
3	pH 2	8	8.2	8.2	8.1	8.2	8.3	8.2	8.2	8.2	8.1	8.2
4	Suhu Air 1	26	28	27	27	28	26	27	27	28	26	27.1
5	Suhu Air 2	26	28	26	27	28	26	28	26	28	28	27.2
6	TDS 1	560	560	559	558	559	561	563	563	562	563	560.9
7	TDS 2	560	559	556	560	562	562	563	562	562	562	560.9

Berangkat dari data pembacaan sensor secara keseluruhan, maka dapat diuji derajat keakuratan dan kepresisian hasil pembacaan semua sensor tersebut. Metode yang digunakan dalam pengujian tingkat akurasi sensor adalah dengan menerapkan perhitungan *error*. Adapun pengujian tingkat kepresisian sistem sensor, digunakan perhitungan *standard deviation* dan *relative standard deviation*. Dengan menerapkan formulasi statistik, diperoleh error data sensor terkecil serta terbesar secara berturut-turut, yaitu 0,16% (sensor TDS) dan 4,70% (sensor suhu air). Di sisi lain, diperoleh pula derajat kepresisian sistem sensor dengan perolehan nilai *pooled standard deviation* sebesar 1,235 serta nilai *pooled relative standard deviation* sebesar 1,809%. Ini mengindikasikan bahwa sistem sensor yang dibangun cukup baik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Beberapa simpulan yang didapatkan setelah melaksanakan penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

- Penelitian ini telah berhasil membuat suatu inovasi teknologi pertanian yang mengaplikasikan metode *indoor vertical farming* pada pembudidayaan sayur selada hidroponik dengan teknik *Nurient Film Techniques* (NFT).
- Proses pengendalian sistem telah mengaplikasikan teknologi semi-industri modern seperti sensor, unit *micro-processing* (*Arduino dan ESP 32*) serta dan proses pemantauan sistem dilakukan secara *real time* dengan melibatkan teknologi *Internet of Things* (*ThingsBoard*).
- Nilai rujukan (*set point*) dari sejumlah parameter yang dikendalikan dalam budidaya tanaman Selada hidroponik meliputi kelembaban udara ruangan sebesar 80%, nilai pH 8, suhu air sebesar 27 °C serta kadar nutrisi sebesar 560.
- Rentang persen error dari data pembacaan sistem sensor secara keseluruhan berkisar antara 0,16% (sensor TDS) sampai dengan 4,70% (sensor suhu air). Adapun tingkat kepresisian pembacaan sistem sensor dapat dikatakan cukup baik, dengan perolehan *pooled relative standard deviation* sebesar 1,809%.

Adapun saran terkait penelitian ini sebagai berikut :

- Perangkat *cloud ThingsBoard* yang digunakan masih bersifat uji coba sehingga fitur *dashboard* memiliki keterbatasan. Oleh karenanya, di masa mendatang perlu digunakan sarana *Internet of Things* yang memberikan peluang untuk mencapai hasil yang maksimal meskipun diperlukan sedikit pengeluaran.

- b. Pada penelitian ini, area riset yang belum disentuh meliputi perlakuan cahaya buatan di dalam ruangan serta perlakuan gas tertentu seperti oksigen (O₂) dan karbondioksida (CO₂). Di masa mendatang, pelibatan kedua parameter tersebut perlu dilakukan yang kemungkinan mampu mempengaruhi pertumbuhan tanaman hidroponik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bray, R., Hydroponics: How to Pick the Best Hydroponic System and Crops for Homegrown Food Year-Round, Jerman: Independently Published, 2018 [Pdf].
- [2] Swastika, S., Yulfida, A. dan Sumitro, Y., Buku Petunjuk Teknis Budidaya Sayuran Hidroponik, Riau : Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Balitbangtan Riau, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, 2017 [Pdf].
- [3] M P, Pavithra, Vertical Farming: A Concept. International Journal of Engineering and Techniques - Volume 4 Issue 3, pp 500-506, May 2018 [Pdf].
- [4] Elkazzaz, A., Soilless Agriculture a New and Advanced Method for Agriculture Development: an Introduction. Agricultural Research & Technology: Open Access Journal. Vol 3. 2017.
- [5] Purwanto, A.D., Kadarina, T. M. dan Supegina, F., Sistem Kontrol Dan Monitor Suplai Nutrisi Hidroponik Sistem Deep Flow Technique (DFT) Berbasis Arduino NodeMCU Dan Aplikasi Android, Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana, Vol. 10. No. 3, 2019.
- [6] Karim, S., Khamidah, I. M. dan Yulianto, Sistem Monitoring pada Tanaman Hidroponik menggunakan Arduino UNO dan NodeMCU, Buletin Poltanesa Vol. 22 No. 1, Juni 2021.
- [7] Sotyohadi, Dewa, W.S., Somawirata, I. K., Perancangan Pengatur Kandungan TDS dan PH pada Larutan Nutrisi Hidroponik Menggunakan Metode Fuzzy Logic, Jurnal Alinier vol. 1, no. 1, pp. 33-43, Mei 2020.
- [8] S. Tagle et al., "Development of an Automated Data Acquisition System for Hydroponic Farming," 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666373., 2018.
- [9] Eridani, Dania & Wardhani, Olivia & Widiyanto, Eko Didik. (2017). Designing and implementing the arduino-based nutrition feeding automation system of a prototype scaled nutrient film technique (NFT) hydroponics using total dissolved solids (TDS) sensor. 170-175. 10.1109/ICITACEE.2017.8257697.
- [10] Ahmad Soim, Mei 2020, Sayuran Indoor dari Vertical Farming Jadi Tren Dunia Masa Depan [online], Available: <https://tabloidsinartani.com/detail/indeks/horti/12744-Sayuran-Indoor-dari-Vertical-Farming-Jadi-Tren-Dunia-Masa-Depan> , Diakses : 4 April 2022.
- [11] N/A, Juli 2020, What Is Indoor Farming? [online], Available: <https://indooragcenter.org/what-is-indoorfarming/>, Diakses : 4 April 2022.
- [12] N/A, Keep growing up with our turnkey vertical farming technology [online], Available : <https://www.edengreen.com/vertical-farming>, Diakses : 4 April 2022.
- [13] Marcel Krijn, Februari 2019, The role of sensors and data collection in a successful vertical farm [online], Available : <https://www.hortidaily.com/article/9074499/the-role-of-sensors-and-data-collection-in-a-successful-vertical-farm/>, Diakses : 4 April 2022.
- [14] N/A, Indoor vs. Outdoor cultivation, Available : <https://www.futurefarming.ae/indoor-vs-outdoor-cultivation> ; Diakses : 4 April 2022
- [15] Andreas, 22_29 Major Pros & Cons Of Vertical Farming - E&C , Available: <https://environmental-conscience.com/vertical-farming-pros-cons/> , Diakses : 4 April 2022.
- [16] N/A, Top 5 Technologies for Sustainable Crops, Available: <https://www.futurelearn.com/info/courses/explore-how-farmers-produce-food-sustainably/0/steps/60773> , Diakses : 4 April 2022.
- [17] Hughes, J.M., Arduino: A Technical Reference, Available:

- <https://www.oreilly.com/library/view/arduino-a-technical/9781491934319/ch01.html>,
Diakses : 19 Oktober 2022
- [18] N/A, Espressif Systems Company Profile, Available: https://www.emis.com/php/company-profile/CN/Espressif_Systems_Shanghai_Co_Ltd_en_8565063.html, Diakses : 19 Oktober 2022.
- [19] N/A, Nextion Display with Arduino – Getting Started, Available: <https://randomnerdtutorials.com/nextion-display-with-arduino-getting-started/>, Diakses : 19 Oktober 2022.
- [20] N/A, Nextion BASIC NX4832T035-3.5" HMI TFT LCD Touch Display Module, Available: <https://robu.in/product/nextion-nx4832t035-3-5-hmi-kernel-tft-lcd-touch-display-module/>, Diakses : 19 Oktober 2022.
- [21] N/A, What is ThingsBoard?, Available: <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/> [Online].
- [22] N/A, MQTT Essentials The Ultimate Guide to MQTT for Beginners and Experts, Available: <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/> [Online].
- [23] N/A, Eclipse Mosquitto™ An open source MQTT broker, Available: <https://mosquitto.org> <https://github.com/eclipse/mosquitto> [Online].
- [24] Datasheet Sensor Gravity: Analog pH Sensor / Meter Pro Kit V2 For Arduino SKU: SEN0169 DFROBOT, China, pp.1-20, 2017, Available: <https://www.application-datasheet.com/pdf/dfrobot/509083/sen0169.html>.
- [25] Datasheet Sensor Gravity: Analog TDS Sensor / Meter For Arduino SKU: SEN0244, DFROBOT, China, pp.1-7, 2017, Available: <https://www.dfrobot.com/product-1662.html>.
- [26] Datasheet Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT20, Aosong Electronics, Co.Ltd., China, pp1-13, 2021, Available : <http://www.aosong.com/en/products-67.html> [Online].
- [27] Datasheet Sensor DS18B20, Maxim Integrated, USA, pp. 1-20, 2019, Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> [Pdf].
- [28] Datasheet RTC DS3231 RTC Module, Available: <https://components101.com/modules/ds3231-rtc-module-pinout-circuit-datasheet> [Online].