



Arsitektur *Moisture* Meter dengan *Capacitive Sensing* dan *Serverless IoT* Untuk Hidroponik Fertigasi

I Wayan Aditya Suranata¹, I Gede Humaswara Prathama²

^{1,2}Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional

¹aditya@undiknas.ac.id, ²huma@undiknas.ac.id

Abstract

The current agricultural systems generally uses chemical fertilizers as a growth booster in order to meet the global food needs of 7 billion people and all of their livestock. But unfortunately not all are aware of the great danger behind such an overuse, unmeasured application of chemical fertilizers, freely in an open field for the survival of the planet and its population. Thanks to technological advances, especially in the field of instrumentation and communication technology, the problem of increasing efficiency and avoiding such overuse should be minimized properly. In this study, the researchers tried to apply capacitive moisture sensor technology and serverless Internet of Things to the moisture meter instrument in the hydroponic drip fertigation system with roasted husk planting media. Capacitive sensor technology has the advantage of corrosion resistance when applied to planting media containing high humidity and low alkalinity. By using a serverless IoT architecture, it is possible to monitor from anywhere via the internet, without involving complicated and expensive infrastructure. Based on the results of the prototype testing, it is known that the instruments built can work properly. The results of monitoring system conditions such as temperature and free heap appear stable. The reading results of the two sensors also run steadily, without fluctuations and variations in the reading that exceed 5%. The process of remote monitoring and data logging to serverless IoT is monitored to be stable with a data recording success rate of 99.8%.

Keywords: Fertigation, Moisture Meter, Capacitive Sensor, Serverless, Internet of Things

Abstrak

Sistem pertanian saat ini pada umumnya menggunakan pupuk kimia sebagai pemacu tumbuh agar dapat mengejar kebutuhan makanan global 7 milyar orang beserta hewan ternaknya. Namun sayangnya tidak semua sadar akan bahaya besar dibalik penggunaan pupuk kimia tanpa terukur dan bebas di lahan terbuka bagi keberlangsungan planet dan populasinya. Berkat kemajuan teknologi, khususnya di bidang instrumentasi dan teknologi komunikasi, masalah untuk meningkatkan efisiensi dan menghindari penggunaan berlebih seperti itu harusnya dapat diminimalisir dengan baik. Pada penelitian ini, peneliti mencoba untuk menerapkan teknologi *capacitive moisture sensor* dan *serverless Internet of Things* pada instrumen moisture meter di sistem pertanian hidroponik fertigasi tetes dengan media tanam sekam bakar. Teknologi *capacitive sensor* memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap karat saat diterapkan pada media tanam yang mengandung tingkat kelembapan tinggi dan alkalinitas rendah. Dengan menggunakan konektivitas berarsitektur *serverless IoT*, maka dimungkinkan untuk melakukan monitoring dari mana saja melalui Internet, tanpa melibatkan infrastruktur rumit dan mahal. Berdasarkan hasil pengujian purwarupa, diketahui bahwa instrumen yang dibangun dapat bekerja sebagaimana mestinya. Hasil pemantauan kondisi sistem seperti temperatur dan *free heap* terlihat stabil. Hasil pembacaan dua sensor juga berjalan dengan stabil, tanpa terjadi fluktuasi dan variasi pembacaan yang melebihi 5%. Proses *remote monitoring* dan data *logging* ke *serverless IoT* terpantau stabil dengan tingkat keberhasilan pencatatan data mencapai 99.8%.

Kata kunci: *Fertigation, Moisture Meter, Capacitive Sensor, Serverless, Internet of Things*

1. Pendahuluan

Isu ledakan populasi manusia pada tahun 2050 terproyeksi lebih dari 9 milyar orang, membawa mimpi buruk dan tekanan luar biasa bagi para pemikir, pemerhati, dan peneliti yang sadar akan kondisi ini [1].

Tidak banyak orang yang tahu bahwa hampir separuh populasi manusia saat ini yang berhasil hidup merupakan hasil langsung dari *Green Revolution* [2]. Teknologi *nitrogen fixation* oleh Haber-Bosch menjadi salah satu faktor yang mendasari terjadinya *Green*

Revolution, sehingga sistem pertanian dan suplai makanan global mampu menghidupi populasi manusia hingga mencapai 7 milyar orang seperti saat ini. Namun, karya luar biasa Haber-Bosch merubah nitrogen di udara menjadi pupuk, membawa karunia sekaligus musibah bagai dua sisi koin. Sisi bahaya yang melahirkan konsep *Planetary Boundaries* sebagai indikator yang jika dilanggar, dapat merusak seluruh bumi dan memusnahkan umat manusia [3]. Saat ini, sistem pertanian global yang bersifat linier, telah menghasilkan banyak masalah pada kesembilan unsur dalam konsep batasan planet, diantaranya yaitu perubahan iklim, pengasaman laut, polusi kimia, pencemaran nitrogen dan fosfor, penarikan air tawar, konversi lahan, hilangnya keanekaragaman hayati, polusi udara, dan penipisan lapisan ozon [4].

Penggunaan produk dari *Green Revolution*, khususnya pupuk kimia harus digunakan dengan baik dan seefisien mungkin. Telah banyak upaya dilakukan di berbagai bidang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk kimia, sehingga pupuk yang digunakan dapat sepenuhnya terserap oleh tanaman, misalnya pengembangan teknologi *slow release fertilizer* dengan *nanotechnology* [5]. Sistem pertanian presisi (*precision agriculture*) dan teknologi CEF atau CEA (*Controlled Environment Farming / Agriculture*) juga dipandang mampu menanggulangi efek yang ditimbulkan oleh perubahan iklim global dan cuaca ekstrim akibat agrikultur yang tidak berkelanjutan [6], [7]. Pertanian presisi merupakan teknik bertani yang dibuat lebih akurat dan terkontrol. Komponen inti dari pertanian presisi adalah penggunaan teknologi informasi dan berbagai teknologi pendukung seperti GPS (*global positioning system*), sistem kontrol, penginderaan jarak jauh, robotika, pesawat tanpa awak, kendaraan otonom, teknologi *variable rate*, telematika, perangkat lunak dan lainnya [8]. Berkaitan dengan proses pertanian presisi, sistem pertanian yang marak digunakan adalah sistem hidroponik. Hidroponik merupakan metode untuk bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam [9].

Pada sistem pertanian konvensional yang menggunakan tanah sebagai media tanam, tanaman menyerap nutrisi yang meresap di sekitar akar melalui tanah, dengan demikian tanah bertindak sebagai material *reservoir* nutrisi, dan sebagai medium tempat tanaman menstabilkan diri. Jika air yang disuplai telah mengandung nutrisi penting yang diperlukan dan tanaman telah ditunjang oleh media atau material lain, maka dapat dikatakan tanah tidak diperlukan lagi. Pada sistem pertanian hidroponik, terdapat berbagai macam metode penanaman tanpa menggunakan tanah. Salah satunya adalah metode fertigasi (fertilisasi dan irigasi), yaitu pengairan dan pemupukan dilakukan berbarengan dengan cara mencampur air dengan mineral nutrisi. Terdapat berbagai keuntungan menggunakan metode

fertigasi khususnya yang berbasis *drip* atau tetes, mulai dari efisiensi yang tinggi karena cairan air dan nutrisi yang dialirkan dapat terukur dan sesuai dengan keperluan tanaman hingga pencegahan penyebaran penyakit [10], [11]. Dengan demikian adanya limbah buangan juga dapat diminimalisir dan tidak merusak lingkungan. Selain itu, fertigasi tetes juga menjadikan tanaman bersih sehingga memiliki nilai jual tinggi. Pada praktiknya, metode fertigasi tetes umumnya dilakukan pada area terkontrol dan tertutup seperti rumah kaca (*green house*) sehingga penggunaan pestisida dan kimia pembasmi hama pun dapat dihindari.

Proses utama dalam metode fertigasi adalah manajemen air dan nutrisi, oleh karena itu diperlukan suatu teknologi untuk dapat menjalankan proses ini sebaik dan seefisien mungkin [12], [13]. Berdasarkan studi literatur, beberapa parameter lingkungan yang digunakan sebagai acuan untuk melakukan fertigasi adalah kelembapan media tanam, suhu dan kelembapan udara, pencahayaan, kadar keasaman cairan fertigasi (pH), EC (*electrical conductivity*), dan TDS (*total dissolved solids*) [14], [15], [16]. Dari sekian parameter yang ada, kelembapan media tanam merupakan parameter utama yang dijadikan acuan, sehingga pada penelitian ini penulis memfokuskan pada instrumen pembaca kelembapan (*moisture meter*) untuk mengurangi kerumitan dan meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan (arsitektur modular). Instrumen *moisture meter* diharapkan dapat melakukan pembacaan terkomputerisasi, dengan demikian data sensor dapat diolah lebih lanjut menggunakan sistem informasi sehingga luarannya dapat bermanfaat untuk tujuan pertanian presisi. Terdapat beberapa metode untuk memungkinkan terciptanya *moisture meter* digital terkomputerisasi. Komponen penyusun utama dari instrumen akuisisi data yang terkomputerisasi adalah sensor dan konektivitas [16], [17]. Menyangkut teknologi sensor, beberapa metode yang diketahui dapat digunakan untuk menciptakan sensor kelembapan media tanam diantaranya berbasis *electrical resistance*, *neutron probe*, *coaxial impedance dielectric reflectometry*, *time domain transmissometry*, *time domain reflectometry*, *frequency domain reflectometry*, kombinasi antara aktif-pasif dan berbasis *capacitance (charge)* [18], [19], [20].

Dari sekian banyak metode untuk mendapatkan data kelembapan media tanam, pada penelitian ini digunakan sensor kelembapan media tanam berbasis teknologi *capacitance (charge)*. *Capacitive sensor* bekerja dengan cara mengukur *dielectric constant* berdasarkan waktu pengisian kapasitor, yang mana media tanam bertindak sebagai medium dielektriknya [21], [22]. Ini dimungkinkan karena waktu pengisian (*charge time*) dari kapasitor merupakan fungsi linier permitivitas dielektrik dari media tanam. Keuntungan utama dari metode *capacitance* untuk mengukur kelembapan media

tanam adalah metode ini bekerja sederhana, sensor *probe* tahan karat, dan biaya komponen elektronik penyusunnya relatif terjangkau sehingga dimungkinkan untuk diimplementasikan dalam skala luas [23]. Selain sensor, untuk menciptakan instrumen *moisture meter* terkomputersisasi juga diperlukan konektivitas. Teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat dipadukan untuk mendapatkan konektivitas luas, sehingga dimungkinkan untuk diciptakannya perangkat berkemampuan *remote monitoring* melalui jaringan Internet [24], [25]. Teknologi IoT tersusun dari berbagai lapisan, untuk menyederhanakan kebutuhan sistem dan mendapatkan potensi penekanan biaya pengembangan dan operasional, maka implementasi IoT dapat memanfaatkan arsitektur *serverless* [17], [26], [27].

Pada penelitian ini peneliti mencoba untuk mengembangkan instrumen *moisture meter* terkomputerisasi dengan teknologi *capacitive sensor* dan konektivitas *serverless Internet of Things* sehingga proses pertanian yang menggunakan sistem hidroponik fertigasi tetes dapat dimonitor dan tercatat dengan baik. Arsitektur instrumen *moisture meter* yang ditawarkan pada penelitian ini menghilangkan masalah mayor pada beberapa penelitian sebelumnya terkait dengan instrumentasi pembaca kelembapan media tanam, khususnya yang menggunakan teknologi *resistive/conductivity sensor*, dimana *probe sensor* cenderung korosi dengan cepat karena efek bersentuhan dengan media tanam dan aliran arus listrik [28],[29],[30]. Serta, instrumen analog yang pembacaannya harus *in situ* dengan pencatatan data yang manual dan menghabiskan banyak tenaga dapat teratasi dengan teknologi *remote monitoring* melalui jaringan *Internet of Things* tanpa harus membangun infrastruktur sendiri (*secure serverless IoT / MQTT over SSL*) [31][32].

Secara sederhana, pengguna dapat memutuskan kapan dan seberapa banyak fertigasi harus dilakukan, hanya dengan mengetahui kadar kelembapan media tanam. Data yang tercatat dapat diolah oleh *machine learning* dan kecerdasan buatan untuk memberikan *insight* pada pengguna, misalnya untuk membandingkan pola penyiraman dengan hasil panen sebelumnya untuk memberikan saran pada proses bertani berikutnya. Dengan desain yang modular, satu instrumen hanya untuk satu tujuan yaitu pembacaan data kelembapan media tanam, maka biaya pembuatan alat dapat ditekan dan ketangguhan sistem dapat ditingkatkan. Instrumen untuk variabel dan parameter fertigasi lain seperti suhu dan kelembapan udara, umur tanaman, intensitas cahaya dan lainnya dapat diimplementasikan dalam instrumen modular terpisah. Sesuai dengan konsep *Internet of Things*, setiap *things* memiliki fungsi khususnya sendiri, namun dapat saling berkomunikasi satu sama lain untuk bertukar data dan instruksi.

Sebagai *proof-of-concept* dari arsitektur yang dirancang, pada penelitian ini diciptakan purwarupa yang validitasnya diuji dengan metode eksperimen langsung di laboratorium rumah kaca percobaan bersistem hidroponik fertigasi tetes. Data hasil pembacaan kelembapan selanjutnya dianalisis untuk mengetahui akurasi dan konsistensi pembacaan data. Begitu pula dengan parameter keandalan perangkat seperti data performa, dan log sistem diobservasi untuk mengetahui keandalan perangkat.

2. Metode Penelitian

2.1 Metode Akuisisi Data

Metode akuisisi data dilakukan dengan cara melakukan eksperimen langsung menggunakan perangkat purwarupa. Perangkat purwarupa yang telah siap untuk digunakan dipasang di laboratorium rumah kaca percobaan dan dinyalakan selama tiga hari. Selama perangkat dinyalakan, perangkat melakukan *logging* data dengan cara mengirimkan data ke broker *Internet of Things*. Parameter data yang dicatat dibagi menjadi dua, pertama adalah parameter data kelembapan media tanam dan kedua adalah parameter data internal perangkat. Parameter data kelembapan terdiri dari data kelembapan yang dihasilkan dari sensor kelembapan dalam satuan miliVolt (mV) dan persen (setelah kalibrasi). Pada sistem hidroponik fertigasi, terdapat beragam media tanam yang digunakan dengan fungsi dan karakteristiknya masing-masing. Media tanam yang digunakan pada penelitian ini, diujikan pada media tanam sekam bakar [33][34]. Media tanam sekam bakar memiliki karakteristik yang cukup ideal sebagai penopang akar, tersedia melimpah, bobotnya ideal, steril melalui pemanasan dengan suhu tinggi, meminimalisir kandungan tanin yang mempengaruhi tingkat pH dan tidak memerlukan perlakuan khusus sebelum penggunaan.

Jumlah sensor kelembapan yang digunakan adalah dua unit, tujuannya agar dimungkinkan untuk mendeteksi sensor *fault* atau kegagalan pembacaan oleh suatu galat atau error baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. Metode uji sensor *fault* dilakukan dengan metode komparasi sederhana, apabila hasil komparasi menunjukkan selisih pembacaan yang jauh berbeda maka dapat disimpulkan ada galat pada komponen sensor atau sensor belum cukup waktu untuk menstabilkan hasil pembacaan. Rentang pembacaan data sensor adalah sebesar 16 bit sesuai dengan desain resolusi komponen analog-to-digital converter ADC yang digunakan oleh perangkat. Sedangkan untuk data internal perangkat yang dicatat adalah suhu perangkat, *free heap* atau ketersediaan memori dan log sistem. Pada Tabel 1 menampilkan format dan parameter data yang diambil. Sensor dikalibrasi dengan patokan nilai ADC dalam satuan mili Volt saat kering dan saat basah. Kondisi kering didapatkan dengan menggantung sensor

di udara, dan kondisi basah didapatkan dengan mencelupkan secara penuh *probe* sensor ke air bersih. Kemudian, nilai luaran ADC dari kedua kondisi tersebut dicatat dan dipetakan menjadi batas atas dan batas bawah dalam rentang persen.

Tabel 1. Parameter dan Format Akuisisi Data

No.	Data Lingkungan		Data Perangkat	
	Parameter	Format	Parameter	Format
1	Kelembapan A	mV, persen (kalibrasi)	<i>Free heap</i>	Integer
2	Kelembapan B	mV, persen (kalibrasi)	Suhu Internal	Celcius
			<i>Log sistem</i>	String

- Untuk satu kali pembacaan, proses sampling data kelembapan sensor A dan B dilakukan seratus kali dan dirata-ratakan untuk mendapatkan data yang lebih stabil dan tidak fluktuatif.

Perlu diketahui bahwa, hasil ADC berbanding terbalik dengan kondisi kelembapan, semakin kering maka nilai ADC akan semakin besar begitupun sebaliknya. Dengan catatan, pada penggunaan riil, cairan yang digunakan untuk melakukan kalibrasi hendaknya adalah cairan fertisasi yang telah tercampur mineral nutrisi. Pada penelitian ini, untuk menghilangkan faktor komposisi dan takaran mineral untuk jenis tanaman tertentu, pada kalibrasi penelitian ini digunakan air murni tanpa dicampur mineral nutrisi. Rumus kalibrasi untuk mendapatkan nilai persen menggunakan rumus seperti rumus 1 dan kode kalibrasi *adc raw value* ke persen. Dimana *calib* adalah nilai final dalam bentuk persen, *x* adalah input dari nilai ADC, *out_max* adalah 100, *out_min* adalah 0, *in_min* adalah nilai kalibrasi yang mewakili kondisi kering, *in_max* adalah nilai kalibrasi yang mewakili kondisi basah.

$$calib = (x - in_{min}) * \frac{(out_{max} - out_{min})}{(in_{max} - in_{min})} + out_{min} \quad (1)$$

Atau dengan notasi bahasa Arduino C-like, menggunakan fungsi pembantu seperti berikut:

```

Kalibrasi ADC Raw Value ke Persen
persen = map(adcRawValue,
             adccalibMin, adccalibMax, 0, 100)
{
    return (adcRawValue - adccalibMin) *
           (100 - 0) / (adccalibMax - adccalibMin) + 0;
}
    
```

2.2 Metode Analisis Data

Metode analisis data dilakukan untuk mendapatkan dua luaran utama, pertama adalah akurasi pembacaan data sensor dan kedua adalah performa dan kestabilan sistem. Perangkat menggunakan dua sensor kelembapan, data dari kedua sensor tersebut dirata-ratakan untuk mencari nilai tengah. Namun sebelum dilakukan perataan nilai, luaran dari kedua sensor tersebut dikomparasi terlebih dahulu untuk mengetahui apakah data sensor tidak *fault*

sebagaimana yang dipaparkan pada bagian metode akuisisi data. Selain mengetahui akurasi dan ketelitian, data sensor yang telah direkap divisualisasikan untuk menggambarkan bagaimana tren pembacaan sensor pada media tanam yang digunakan pada proses uji coba. Dari sana dapat diketahui bagaimana karakteristik dari media tanam sebagai reservoir cairan fertisasi dan karakteristik tanaman dalam menyerap cairan fertisasi dan pengaruh lingkungan. Pada Tabel 2, dipaparkan parameter dan bagaimana data divalidasi.

Tabel 2. Parameter dan Validasi Data

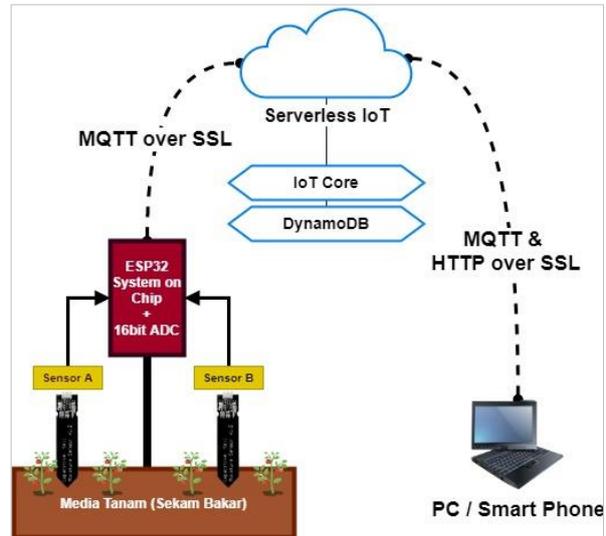
No.	Parameter	Validasi
1	Integrasi komponen perangkat keras. (Sensor dan Kontroler).	Perangkat dinyalakan dan diobservasi dari sisi perangkat keras dan perangkat lunak untuk memastikan integrasi terjadi dengan baik. Pengujian dianggap berhasil apabila seluruh komponen perangkat keras dan lunak terintegrasi dengan baik dan berjalan sebagaimana mestinya.
2	Akurasi pembacaan data sensor.	Sebelum dilakukan <i>fieldtest</i> untuk menguji performa sistem, dilakukan observasi dan pengujian akurasi pembacaan data sensor. Pengujian dilakukan dengan cara memeriksa kestabilan data pembacaan sensor dengan cara melakukan pembacaan dalam mode <i>single-shot</i> dengan interval 10 detik selama 30 menit. Pengujian dianggap berhasil apabila data sensor yang terbaca tidak fluktuatif melebihi toleransi 5%.
3	Performa sistem (<i>free heap, system temp.</i>)	Perangkat diuji di lapangan (<i>fieldtest</i>) berupa rumah kaca ukuran 6x4 meter dengan instalasi hidroponik fertisasi bermedia tanam sekam bakar, komoditas tanamannya adalah cabai <i>heirloom</i> Bali berumur 2 bulan setelah semai. Durasi pengujian adalah 3 hari, dimana perangkat menyala tanpa henti dan melakukan pembacaan data sensor dan sistem, dan mengirim rekaman data ke IoT Broker dengan interval 3 menit. Pengujian dianggap berhasil apabila kondisi memori tidak ada kebocoran dan kondisi suhu perangkat ada dalam rentang aman.
4	Integrasi fitur Internet of Things	Rekaman data yang dikirim ke IoT broker dengan interval 3 menit sekali, dianalisis untuk mengetahui bagaimana integrasi fitur Internet of Things. Pengujian dianggap berhasil apabila perangkat dapat terhubung ke broker IoT dan dapat melakukan <i>publish/subscribe</i> topik IoT dengan baik.
5	Integrasi fitur data logging	Data yang dikirim ke IoT broker dalam format JSON dialirkan ke DynamoDB dan disimpan dalam format NoSQL. Rekaman data ini selanjutnya diobservasi untuk memastikan data tersimpan dengan baik. Pengujian dianggap berhasil apabila data yang dikirim dapat tersimpan di database NoSQL DynamoDB.

Selain data kelembapan, luaran yang diharapkan pada analisis data adalah indikator kestabilan sistem. Pada proses analisis kestabilan sistem dilakukan beberapa validasi seperti monitoring penggunaan memori (*free heap*) selama perangkat diujicobakan. Apabila dalam catatan diketahui terdapat kebocoran memori yang ditandai dengan berkurangnya *free heap* secara konstan dan drastis hingga menyebabkan perangkat *crash* maka dapat disimpulkan terdapat kebocoran memori (*memory leaks*) yang mesti ditangani dengan perubahan pada algoritma program *firmware*. Selain *free heap*, parameter yang dianalisis adalah *log* sistem yang bertindak seperti *blackbox* pencatat segala galat yang terjadi saat sistem berjalan. Melalui *log* sistem dapat diteliti apakah terdapat kejadian yang dapat berisiko menyebabkan kegagalan sistem.

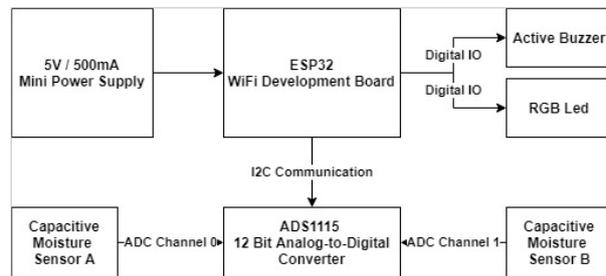
2.3 Desain Instrumen Purwarupa

Gambar 1 menampilkan gambaran besar sistem. Instrumen moisturemeter yang dirancang menggunakan ESP32 *System-on-Chip* sebagai komputer utama untuk membaca data sensor, memproses, dan mengirimkannya ke IoT broker di Internet melalui protokol MQTT terenkripsi SSL. ESP32 terhubung ke Internet melalui jaringan nirkabel konvensional berstandar IEEE 802.11/b/g/n atau yang umum dikenal sebagai Wi-Fi. Dengan demikian, sistem yang dibangun dapat dipastikan mudah untuk diintegrasikan dengan jaringan TCP/IP yang telah ada. Pada bagian *end device* terdapat sebuah PC atau *smart phone* yang di dalamnya terpasang *web browser* dan MQTT Explorer untuk mengakses catatan data yang telah direkam oleh perangkat dan melakukan konfigurasi perangkat. Dengan demikian, perangkat dapat dioperasikan hanya dengan menyalakannya dan sisanya seluruh proses pengukuran dan monitoring dapat dilakukan dimana pun dan kapan pun.

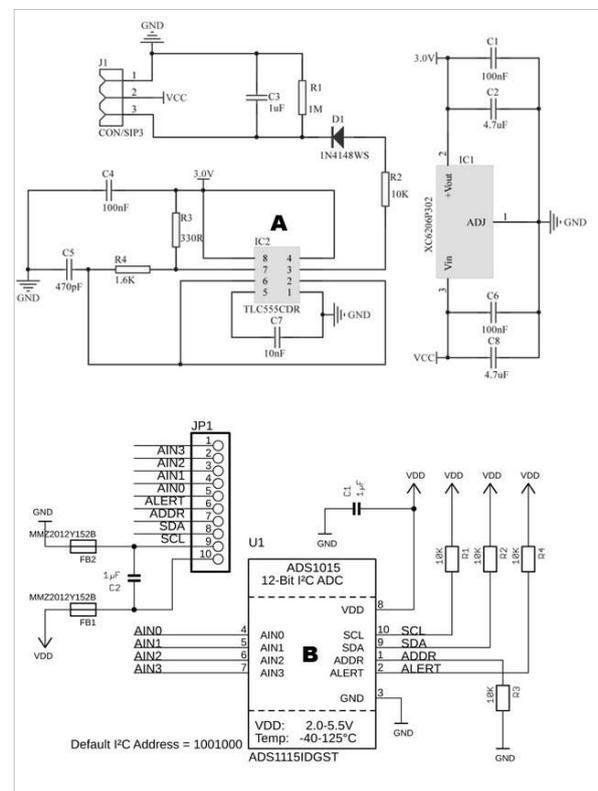
Sistem dirancang untuk bekerja di tegangan referensi 3.3 volt, sesuai dengan spesifikasi modul Analog-to-Digital Converter berbasis chip ADS1115 agar dapat berkomunikasi dengan baik melalui protokol I2C ke SoC ESP32. Untuk indikator fisik, juga disematkan sebuah RGB LED dan *Active Buzzer* sebagai tanda alarm masalah sensor maupun koneksi. ADC yang digunakan pada penelitian ini memiliki resolusi sebesar 16-bit dengan kecepatan sampling di bit tertinggi maksimal 860 sample/detik. Pada Gambar 2 menampilkan diagram blok perangkat keras. Kemudian, pada Gambar 3 menampilkan skematik modul sensor *capacitive moisture* dari vendor DFRobot dan *breakout board* untuk modul ADC yang menggunakan chip ADS1115. Sensor kelembapan ini memiliki tiga pin out yang terdiri dari satu *pinout* berupa data analog dan dua pin untuk sumber daya. Rangkaian elektronik pada sensor *probe* dan pinnya dilindungi dengan *sprayer* isolatif.



Gambar 1. Gambaran Besar Sistem



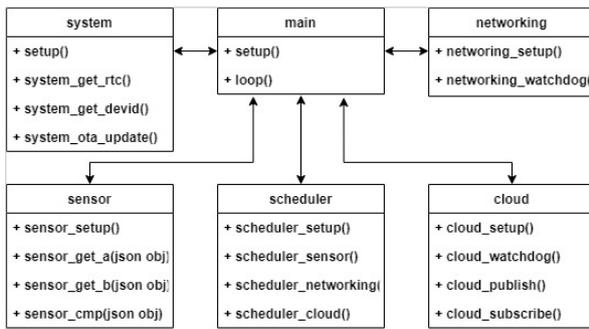
Gambar 2. Diagram Blok Perangkat Keras



Gambar 3. (A) Capacitive Moisture Sensor & (B) ADS1115 Breakout Board

Tegangan kerja yang digunakan pada sensor ini adalah 3.3V sesuai dengan tegangan kerja chip ESP32 dan ADS1115. Data waktu meskipun perangkat dalam keadaan mati dan tanpa koneksi Internet didapatkan dari modul RTC dengan jenis chip DS3231.

Perangkat lunak dibangun menggunakan lingkungan pengembangan terintegrasi Platform IO, dengan bahasa Arduino C-like. Struktur program yang dibangun dapat terlihat pada Gambar 4, yaitu pada bagian modul main dijalankan rutin untuk melakukan inisiasi pada saat perangkat pertama kali dinyalakan. Fungsi *setup()* pada tiap modul dieksekusi melalui fungsi *setup()* pada modul main. Urutannya dimulai dari modul *system* yang berisi rutin untuk inisiasi sistem seperti informasi waktu dan nomer identifikasi perangkat, kemudian bagian sensor untuk menginisiasi komponen sensor, *networking* yang berisi rutin untuk menghubungkan perangkat ke jaringan WiFi, *cloud* berisi rutin untuk fungsi IoT, dan *scheduler* berisi rutin untuk penjadwalan tugas-tugas dari masing-masing modul. Fungsi *loop()* pada modul *main* menjalankan setiap tugas yang ada pada modul *scheduler*, seperti misalnya tugas untuk mendapatkan data sensor, tugas untuk memastikan jaringan WiFi tetap terkoneksi dan IoT tetap berjalan sebagaimana mestinya. Pada penelitian ini juga disematkan fitur untuk tujuan *over-the-air update* (OTA Update) untuk memungkinkan perangkat dapat diperbarui secara otomatis melalui jaringan. Dengan menggunakan protokol MQTT over SSL, selain memberikan keamanan dan menjamin integritas data, arsitektur yang dibangun juga mampu terintegrasi dengan infrastruktur IoT secara umum. Sehingga kemampuan *serverless* IoT dapat berjalan hanya dengan mengganti beberapa parameter perangkat seperti alamat *host* dari IoT Broker tujuan, sertifikat SSL, dan kode otentikasi.



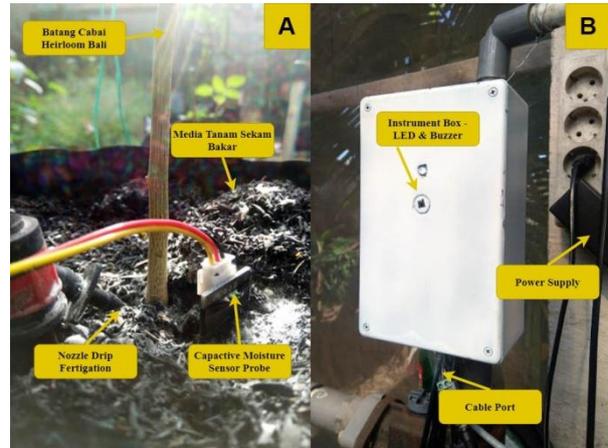
Gambar 4. Diagram Blok Perangkat Lunak

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Integrasi Purwarupa

Pada Gambar 5 menampilkan perangkat purwarupa yang telah terpasang di rumah kaca percobaan. Berdasarkan hasil pengujian integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, dapat diketahui bahwa desain dan implementasi berjalan dengan baik dan sesuai dengan

rancangan. Bagian sensor yang terhubung ke modul ADC, dan ADC yang terhubung ke bagian mikrokontroler dapat berjalan dengan baik.



Gambar 5. A: Sensor Kelembapan di Media Tanam Sekam Bakar; B: Purwarupa Perangkat Moisture Meter di Instalasi Rumah Kaca Percobaan

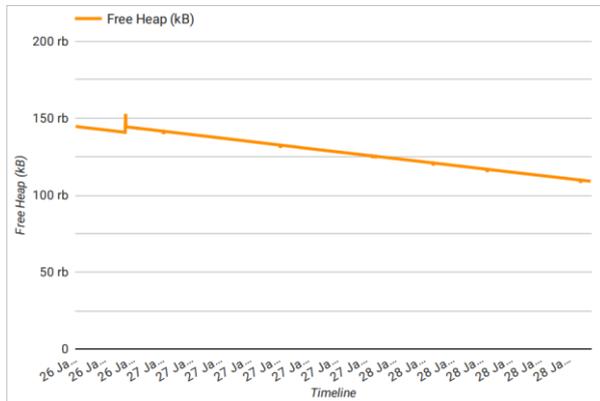
Berdasarkan spesifikasi dari modul ADC 1115, terdapat 6 mode gain, dan pada penelitian ini menggunakan mode gain 1 yaitu rentang pembacaan antara 0 – 4,096V, sehingga nilai 1 bit setara dengan kelipatan 2mV. Dari hasil pengujian kalibrasi, dapat diketahui pada kondisi kering dan basah nilai ADC berada pada 2850mV dan 1180mV. Sehingga pada kalkulasi kalibrasi digunakan 2850mV sebagai batas bawah (kering) dan 1180mV sebagai batas atas (basah).

3.2 Performa Sistem

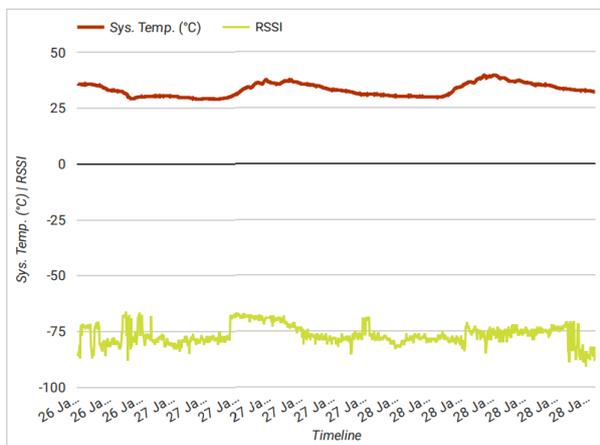
Berdasarkan hasil pengujian, performa sistem teramat berjalan dengan normal tanpa terjadi suatu galat dan perilaku diluar desain. Gambar 6 menampilkan catatan data memori tersisa (*free heap*) yang terkirim dan tercatat di database DynamoDB *serverless* IoT. Berdasarkan grafik tersebut, memori tersisa terlihat mencukupi bahkan hingga keseluruhan waktu pengujian. Tidak terdapat pengurangan memori signifikan yang dapat membuat perangkat mengalami galat yang fatal. Titik terendah sisa memori pada rentang waktu pengujian selama tiga hari tercatat di kisaran 109kB dari total tersisa saat *clean start* 145kB. Grafik harian tidak menunjukkan adanya kebocoran memori drastis yang dapat membahayakan operasional perangkat.

Pada Gambar 7 menampilkan dua catatan data masing-masing untuk suhu sistem dan kekuatan sinyal WiFi. Kekuatan sinyal tercatat mengalami fluktuasi dalam rentang -89 hingga -67 RSSI. Suhu sistem datanya diambil dari sensor suhu modul RTC DS3231. Suhu sistem terlihat bervariasi mulai dari 29 hingga 39 derajat Celcius. Rentang suhu tersebut termasuk dalam rentang wajar berdasarkan spesifikasi pada *datasheet* masing-masing komponen perangkat keras yang digunakan. Pada Tabel 3 terlihat rangkuman harian dari performa

sistem, yaitu pada hari pertama total data masuk tercatat sebanyak 186 data dan hari terakhir tercatat 290 data karena tidak diambil satu hari penuh. Data pada hari kedua dan ketiga, tercatat 480 data karena diambil satu hari penuh.



Gambar 6. Catatan Data Memori Tersisa (*Free Heap*)



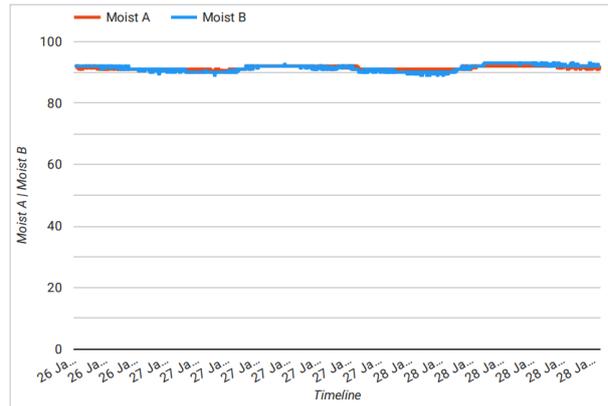
Gambar 7. RSSI dan Suhu Sistem

Tabel 3. Log Performa Sistem dalam Harian

Tanggal	Rec. Cnt.	Free Heap	Sys. Tmp.	RSSI
26 Jan 2021	186	142.924	32	-77
27 Jan 2021	480	133.397	33	-75
28 Jan 2021	480	116.846	34	-78
29 Jan 2021	290	103.644	34	-77
Total & Rata ²	1.436	123.090	33	-77

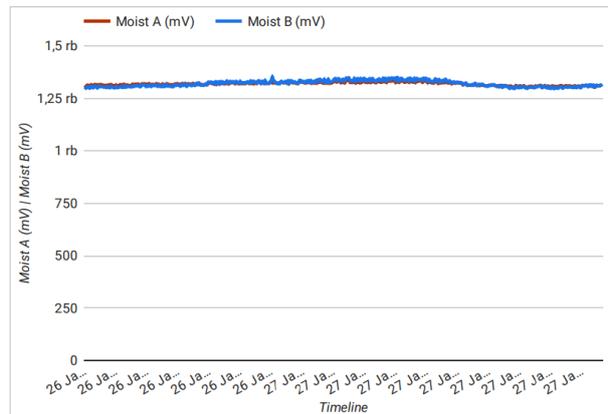
3.3 Logging dan Hasil Pembacaan Data Sensor

Dua sensor kelembapan yang digunakan pada penelitian ini menghasilkan nilai luaran yang berkisar antara 89 hingga 94 persen selama masa eksperimen berlangsung, yaitu dimulai pada 26 Januari 2021 Pukul 14:39:23 hingga 29 Januari 2021 Pukul 14:27:13 (3 Hari). Pada Gambar 8 yang memperlihatkan linimasa data kelembapan dalam persen, Gambar 9 yang memperlihatkan linimasa data kelembapan dalam *raw* mili Volt, maka dapat terlihat bahwa hasil pembacaan sensor berjalan dengan baik.



Gambar 8. Grafik Linimasa Data Sensor dalam Persen

Pada grafik linimasa pembacaan data sensor, tidak terlihat fluktuasi dan selisih pembacaan data antara kedua sensor yang melewati batasan 5%, apabila dibandingkan antara sensor A dan sensor B pada saat satu kali pembacaan, selisih pembacaan hanya berkisar antara 1 hingga 2%. Hal ini dianggap wajar, mengingat sensor di pasang di dua *polybag* berbeda dan kondisi dari satu *polybag* dengan *polybag* lainnya berbeda. Pembacaan sensor mungkin terlihat tidak wajar apabila selisih sensor A dan B terpaut terlalu jauh, dengan demikian dapat diasumsikan bahwa proses penyiraman tidak merata atau terjadi galat pada sensor dan nilai kalibrasi.



Gambar 9. Grafik Linimasa Data Sensor dalam *Raw* mili Volt

Total data yang berhasil tercatat sebanyak 1.436 data, apabila dikalkulasikan data yang seharusnya masuk selama tiga hari dengan interval pengiriman data setiap 3 menit sekali, maka dapat diketahui data yang tidak tercatat adalah sebanyak 4 data. Karena total data yang seharusnya masuk selama tiga hari adalah 1440 data (480/hari). Apabila dipersentasikan, maka dapat diketahui data yang berhasil terkirim dalam pengujian yang dilakukan selama tiga hari adalah 99,8%. Untuk memvisualisasikan data harian, pada Tabel 4 menampilkan log data sensor selama satu hari. Data yang masuk selama satu jam berjumlah 20 data, karena data dikirim dengan interval 3 menit sekali. Data sensor yang masuk disimpan dalam dua format, satu dalam

bentuk persen, dan satu dalam bentuk *raw ADC value*. Karena pada instrumen dipasangkan dua sensor, maka terdapat empat nilai sensor yang tersimpan. Berdasarkan observasi harian, terlihat bahwa pembacaan data sensor stabil tanpa fluktuasi yang terlampau jauh. Proses penyiraman harian tentunya mempengaruhi nilai kelembapan yang tercatat. Namun, berdasarkan data yang tercatat dapat disimpulkan bahwa instrumen mampu memberikan pembacaan data yang representatif terhadap kondisi kelembapan media tanam.

Tabel 4. Tabel Software dan Hardware Pendukung

Tanggal	Rec. Cnt.	% A	% B	mV A	mV B
28 Jan 2021 00	20	91	90	1.322	1.334
28 Jan 2021 01	20	91	90	1.324	1.338
28 Jan 2021 02	20	91	90	1.326	1.341
28 Jan 2021 03	20	91	90	1.327	1.343
28 Jan 2021 04	20	91	90	1.327	1.343
28 Jan 2021 05	20	91	90	1.328	1.344
28 Jan 2021 06	20	91	90	1.328	1.344
28 Jan 2021 07	20	91	90	1.326	1.336
28 Jan 2021 08	20	91	91	1.317	1.319
28 Jan 2021 09	20	92	92	1.311	1.310
28 Jan 2021 10	20	92	92	1.308	1.303
28 Jan 2021 11	20	92	93	1.304	1.292
28 Jan 2021 12	20	92	93	1.303	1.288
28 Jan 2021 13	20	92	93	1.304	1.289
28 Jan 2021 14	20	92	93	1.305	1.292
28 Jan 2021 15	20	92	93	1.305	1.290
28 Jan 2021 16	20	92	93	1.307	1.294
28 Jan 2021 17	20	92	93	1.309	1.296
28 Jan 2021 18	20	92	92	1.310	1.297
28 Jan 2021 19	20	92	92	1.311	1.299
28 Jan 2021 20	20	92	92	1.312	1.300
28 Jan 2021 21	20	92	92	1.313	1.303
28 Jan 2021 22	20	92	92	1.313	1.301
28 Jan 2021 23	20	91	92	1.314	1.301
Total & Rata ²	480	92	92	1.315	1.312

Performa sistem dalam melakukan pencatatan data ke Internet melalui arsitektur *serverless computing* tentunya bergantung pada faktor konektivitas lokal dan pengaturan di awan, juga bagaimana perangkat didesain dan diimplementasikan untuk mempertahankan ketangguhannya dalam berbagai kondisi internal maupun eksternal. Begitu pula, pada penelitian ini juga dapat terlihat bahwa selama tiga hari tersebut, kelembapan media tanam hanya berkurang 3 hingga 5 persen seperti terlihat pada grafik pada Gambar 8. Kondisi ini tentunya dapat bervariasi sesuai dengan pola penyiraman, jenis media tanam, kondisi lingkungan, umur dan jenis tanaman. Pada saat percobaan ini dilakukan, kondisi lingkungan di tempat percobaan berlangsung memang sedang dalam musim penghujan, dan umur tanaman masih dalam fase vegetatif. Sehingga, proses penguapan kelembapan media tanam tidak begitu nampak dan perubahan kelembapan media tanam tidak terlihat begitu tajam turun seperti kondisi di wilayah

yang panas dengan umur tanaman yang telah memasuki fase generatif. Berdasarkan umpan yang diberikan oleh sistem yang dibangun pada penelitian ini, tentunya pengguna atau petani mendapatkan wawasan untuk melakukan pengaturan pola penyiraman sehingga dapat mengurangi pembuangan air dan nutrisi dengan tingkat ketelitian dan kemudahan yang lebih baik.

4. Kesimpulan

Penulis mencoba merancang dan membangun arsitektur tepat guna berbentuk instrumen sensor kelembapan untuk media tanam sekam bakar pada sistem pertanian hidroponik fertigasi tetes, dengan harapan membantu petani melakukan efisiensi dan mengurangi efek negatif dari penggunaan sumber daya air dan mineral nutrisi yang tidak terukur. Instrumen yang dibangun dilengkapi dengan sensor kelembapan berteknologi *capacitive moisture sensor* yang dapat bertahan pada kondisi lembap tanpa mengalami korosi. Selain itu juga disematkan kemampuan *remote monitoring* melalui teknologi *serverless Internet of Things*. Teknologi *serverless IoT* dapat menyederhanakan arsitektur keseluruhan sistem dan berpotensi menghemat biaya dengan memanfaatkan layanan *free tier* atau *pay-per-use*. Berdasarkan hasil pengujian purwarupa, diketahui bahwa instrumen yang dibangun dapat bekerja sebagaimana mestinya. Hasil pemantauan kondisi sistem seperti temperatur dan *free heap* terlihat stabil. Hasil pembacaan dua sensor juga berjalan dengan stabil, tanpa terjadi fluktuasi dan variasi pembacaan yang melebihi 5%. Proses *remote monitoring* dan data *logging* ke *serverless IoT* terpantau stabil dengan tingkat keberhasilan pencatatan data mencapai 99.8%.

Agar lebih mempermudah proses pemantauan, maka dapat dibangun aplikasi *mobile* sebagai antarmuka pengguna. Instrumen juga dapat ditambahkan fitur *offline mode* sehingga saat konektivitas Internet tidak tersedia, maka perangkat tetap dapat dioperasikan melalui WiFi perangkat dalam mode operasi *access point mode*, sehingga *smart phone* dapat menghubungkan diri ke WiFi yang dipancarkan perangkat. Pada bagian perangkat keras, fitur aktuator juga dapat ditambahkan, seperti aktuator berupa relai untuk melakukan pengontrolan pompa fertigasi dan *solenoid valve* pengisian air. Meskipun pada penelitian ini media tanam yang diujikan adalah sekam bakar, instrumen dapat dikalibrasi dengan media tanam umum lainnya seperti *coco peat*, *perlite*, dan *vermiculite*.

Daftar Rujukan

- [1] E. MacArthur, "Cities and Circular Economy for Food," *Ellen MacArthur Found.*, pp. 1–66, 2019
- [2] W. Willett *et al.*, "Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems," *Lancet*, vol. 393, no. 10170, pp. 447–492, 2019.
- [3] B. M. Campbell *et al.*, "Agriculture production as a major driver of the earth system exceeding planetary boundaries," *Ecol. Soc.*,

- vol. 22, no. 4, 2017.
- [4] J. A. Velazquez and I. Negrutiu, "Agriculture and global physicochemical deregulation: planetary boundaries that challenge planetary health," *Lancet Planet. Heal.*, vol. 3, no. 1, pp. e10–e11, 2019.
- [5] F. Zulfikar, M. Navarro, M. Ashraf, N. A. Akram, and S. Munné-Bosch, "Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations," *Plant Sci.*, vol. 289, no. August, 2019.
- [6] R. F. Maia, I. Netto, and A. L. H. Tran, "Precision agriculture using remote monitoring systems in Brazil," *GHTC 2017 - IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf. Proc.*, vol. 2017-Janua, pp. 1–6, 2017.
- [7] W. Goodman and J. Minner, "Will the urban agricultural revolution be vertical and soilless? A case study of controlled environment agriculture in New York City," *Land use policy*, vol. 83, pp. 160–173, 2019.
- [8] D. Murugan, A. Garg, and D. Singh, "Development of an Adaptive Approach for Precision Agriculture Monitoring with Drone and Satellite Data," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 10, no. 12, pp. 5322–5328, 2017.
- [9] N. Bakhtar, V. Chhabria, I. Chougale, H. Vidhrani, and R. Hande, "IoT based hydroponic farm," *Proc. Int. Conf. Smart Syst. Inven. Technol. ICSSIT 2018*, no. Icssit, pp. 205–209, 2018.
- [10] A. Alshrouf, "Hydroponics , Aeroponic and Aquaponic as Compared with Conventional Farming," vol. 27, no. 1, pp. 247–255, 2017.
- [11] N. Lin, X. Wang, Y. Zhang, X. Hu, and J. Ruan, "Fertigation management for sustainable precision agriculture based on Internet of Things," *J. Clean. Prod.*, p. 124119, 2020.
- [12] W. Cho, H. Kim, D. Jung, D. Kim, T. In, and J. Son, "On-site ion monitoring system for precision hydroponic nutrient management," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 146, pp. 51–58, 2018.
- [13] S. R. Evett and R. C. Schwartz, "Discussion of Soil Moisture Measurements : Comparison of Instrumentation Performances", 2011.
- [14] T. V. Gour, Mahesh S., Reddy, Vittal., Vamsi, M., Sridhar, M., Vishuvaradhan., Ram, "IoT based Farming Techniques in Indoor Environment: A Brief Survey," *Proc. Fifth Int. Conf. Commun. Electron. Syst. (ICCES 2020)*, no. Icces, pp. 790–795, 2020.
- [15] S. Hosseinzadeh, "Closed hydroponic systems : operational parameters , root exudates occurrence and related water treatment," *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology*, 2017.
- [16] I. N. K. Wardana, N. N. K. Krisnawijaya, and I. W. A. Suranata, "Sub-1 GHz Wireless nodes performance evaluation for intelligent greenhouse system," *Telkonnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, vol. 16, no. 6, pp. 2888–2895, 2018.
- [17] I. K. Agus, A. Aryanto, I. P. W. Prasetya, I. K. A. Wiguna, and I. M. P. Darma, "Arsitektur Serverless Internet of Things untuk Pencatatan Data Perangkat Microclimate Adjuster di Fasilitas Riset PRITA," vol. 1, no. 2, pp. 10–16, 2021.
- [18] V. S. Kuncham and P. R. N.V, "Sensors for Managing Water Resources in Agriculture," *IOSR J. Electron. Commun. Eng.*, vol. 9, no. 2, pp. 145–163, 2014.
- [19] R. Akbar and M. Moghaddam, "A Combined Active – Passive Soil Moisture Estimation Algorithm With Adaptive Regularization in Support of SMAP," vol. 53, no. 6, pp. 3312–3324, 2015.
- [20] M. V. Caya *et al.*, "Capacitance-Based Soil Moisture Sensor for Irrigation Scheduling Application," *2018 3rd Int. Conf. Comput. Commun. Syst.*, pp. 477–481, 2018.
- [21] J. Hrisko, "Capacitive Soil Moisture Sensor Theory, Calibration, and Testing," no. 2, pp. 1–12, 2020.
- [22] K. Xu, Q. Sheng, X. Zhang, P. Li, and S. Chen, "Design and calibration of the unilateral sensitive soil moisture sensor," *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 8, pp. 4587–4594, 2015.
- [23] M. J. W. Schubert *et al.*, "Capacitive sensor technology for soil moisture monitoring networks," *ICECS 2017 - 24th IEEE Int. Conf. Electron. Circuits Syst.*, vol. 2018-Janua, pp. 190–193, 2018.
- [24] A. M. Ezhilazhahi and P. T. V. Bhuvanewari, "IoT enabled plant soil moisture monitoring using wireless sensor networks," *Proc. 2017 3rd IEEE Int. Conf. Sensing, Signal Process. Secur. ICSSS 2017*, pp. 345–349, 2017.
- [25] D. Aleixo and R. Pitarma, "Enhanced Hydroponic Agriculture Environmental Monitoring : An Internet of Things Approach," pp. 658–669, 2019.
- [26] W. Is and S. Computing, "Understanding Serverless Computing," Maddie Stigler, pp. 1–14, 2018.
- [27] M. Sewak, "Winning in the era of Serverless Computing and Function as a Service," pp. 1–5, 2018.
- [28] D. Hatanaka, A. Ahrary, and D. Ludena, "Research on Soil Moisture Measurement Using Moisture Sensor," *Proc. - 2015 IIAI 4th Int. Congr. Adv. Appl. Informatics, IIAI-AAI 2015*, pp. 663–668, 2016.
- [29] A. Kumar, K. Kamal, M. O. Arshad, S. Mathavan, and T. Vadamala, "Smart irrigation using low-cost moisture sensors and XBee-based communication," *Proc. 4th IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf. GHTC 2014*, pp. 333–337, 2014.
- [30] P. Singh and S. Saikia, "Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and ESP8266 WiFi module," *IEEE Reg. 10 Humanit. Technol. Conf. 2016, R10-HTC 2016 - Proc.*, 2017.
- [31] C. Hirsch, E. Bartocci, and R. Grosu, "Capacitive Soil Moisture Sensor Node for IoT in Agriculture and Home," *2019 IEEE 23rd Int. Symp. Consum. Technol. ISCT 2019*, pp. 97–102, 2019.
- [32] M. Tomar and T. Patidar, "Development of a low Cost Soil Moisture Sensor," *Proc. - Int. Conf. Vis. Towar. Emerg. Trends Commun. Networking, ViTECoN 2019*, pp. 1–5, 2019.
- [33] M. Bahzar, M.H., Santosa, "Pengaruh Nutrisi dan Media Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (Brassica rapa L. var. chinensis) Dengan Sistem Hidroponik Sumbu," vol. 6, no. 7, pp. 1273–1281, 2018.
- [34] Djaingsastro, Aulia Juanda., Sinaga, Hardiansyah., Sitorus Ranto Mangasi., "The Effect Of Cocopeat And Rice Husk Planting Media Hydroponically On The Growth Of Palm Oil In Pre Nursery," vol. 7, no. 2, pp. 195–203, 2021.