

RANCANG BANGUN SMART AKUAPONIK SKALA KECIL BERBASIS INTERNET OF THINGS

SMALL-SCALE SMART AQUAPONICS DESIGN BASED ON INTERNET OF THINGS

Syahban Rangkuti¹, Umar Miftadi²

^{1,2}Universitas Faletahan

¹syahban3477@gmail.com, ²umar.miftadi@gmail.com

Abstrak

Sistem Akuaponik mengkombinasikan sistem akuakultur dan hidroponik sebagai satu kesatuan sistem bersifat simbiotik. Sistem akuaponik dapat diintegrasikan dengan teknologi *Internet of Things* sehingga dihasilkan sistem *smart* akuaponik. *Smart* akuaponik merupakan pengembangan konsep akuaponik bertujuan agar dapat mensinergikan budidaya ikan dan tanaman yang sedang tumbuh. Sistem akuaponik memiliki beberapa faktor penting yang mempengaruhi perkembangan ekosistem diantaranya adalah derajat keasaman (pH) yang berdampak untuk nutrisi pada akar tanaman dan perkembangan hewan yang hidup pada ekosistem tersebut. Faktor lain mempengaruhi adalah elektrokonduktivitas (EC), kemampuan menghantarkan *ion* listrik dalam larutan ke akar tanaman. Derajat keasaman (pH) air untuk ekosistem akuaponik berkisar pada nilai 6-7 dan nilai EC berkisar pada nilai 0.8-1.2 ms/cm. *Smart* akuaponik harus mampu memantau kadar pH, EC, suhu, level air, pakan ikan, sirkulasi air, dan penerangan. Berbagai jenis perangkat sensor dan modul mikrokontroler dapat digunakan untuk memantau kualitas air, pencahayaan, dan pakan ikan. Sistem *smart* akuaponik dapat dipantau dengan menggunakan *smartphone* ataupun komputer sehingga dapat melakukan pengontrolan terhadap tanaman dan ikan yang berada pada sistem *smart* akuaponik dengan menggunakan teknologi *internet of things*.

Kata kunci: *smart* akuaponik, *internet of things*, sensor.

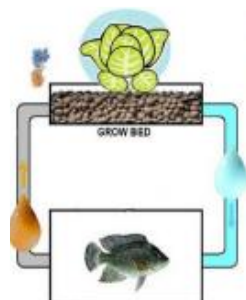
Abstract

The Aquaponic System combines aquaculture and hydroponic systems as a single symbiotic system. The aquaponics system can be integrated with Internet of Things technology to produce a smart aquaponics system. Smart Aquaponic is the development of the aquaponic concept which aims to synergize growing fish and plant cultivation. The aquaponic system has several important factors that affect the development of ecosystems, including the degree of acidity (pH) which affects the nutrition of plant roots and the development of animals that live in the ecosystem. Another influencing factor is electroconductivity (EC), the ability to conduct electrical ions in solution to plant roots. The degree of acidity (pH) of water for an aquaponic ecosystem ranges from 6-7 and the EC value ranges from 0.8-1.2 ms/cm. Smart aquaponics must be able to monitor pH levels, EC, temperature, water level, fish food, water circulation, and lighting. Various types of sensor devices and microcontroller modules can be used to monitor water quality, lighting, and fish feed. The smart aquaponic system can be monitored using a smartphone or computer so that it can control the plants and fish that are in the smart aquaponic system by integrating it with internet of things technology.

Keywords: smart aquaponic, internet of things, sensors.

1. PENDAHULUAN

Akuaponik adalah kombinasi antara akuakultur (budidaya ikan) dan hidroponik (budidaya tanaman yang biasanya sayuran) yang dilakukan secara bersamaan [1,2]. Metode akuaponik memanfaatkan air dari pemeliharaan ikan secara terus menerus untuk memberikan nutrisi pada tanaman hidroponik, tanaman hidroponik membersihkan air yang kemudian kembali ke ikan, sehingga merupakan sebuah simbiosis mutualisme dimana masing-masing pihak saling membutuhkan dan mendapatkan keuntungan [3,4].



Gambar 1. Sistem Akuaponik

Pada akuaponik, limbah kaya nutrisi dari tangki ikan digunakan untuk penyuburan tempat produksi hidroponik. Hal ini bagus untuk ikan karena akar tanaman dan rhizobakteri dapat meresap nutrisi dari air, nutrisi yang dihasilkan dari kotoran ikan, ganggang, dan pakan ikan yang membusuk dapat berfungsi sebagai pupuk cair untuk tanaman hidroponik tumbuh. Tempat tanaman hidroponik tumbuh berfungsi sebagai *biofilter* untuk penguraian *amonia*, *nitrat*, *nitrit*, dan *fosfor* sehingga air menjadi segar dan kemudian dapat diresirkulasi kembali [5,6,7]. Hal ini dapat dilihat seperti pada gambar di atas mengenai sirkulasi aliran air endapan dari akuarium yang dialirkan ke dalam bak pertumbuhan tanaman yang sudah terdapat filter air sekaligus sebagai media tempat tumbuhnya akar yang menyerap kotoran sehingga air menjadi bersih untuk dikembalikan lagi ke dalam kolam ikan.

Akuaponik merupakan salah satu teknik pertanian tanpa tanah yang cukup banyak diminati. Kombinasi hidroponik dan akuakultur umumnya dikenal sebagai akuaponik. Teknik akuaponik yang cerdas dapat dengan mudah diadopsi oleh pengembang budidaya ikan untuk memperluas jangkauan dan meningkatkan produktivitas [8]. Penggunaan teknologi digital pada sistem *smart* akuaponik dengan menggunakan teknologi *internet of things* dapat dilakukan agar dapat mengontrol proses produksi melalui aplikasi *website* yang dapat dibuka melalui *smartphone* ataupun *laptop* yang dimiliki sehingga dapat meningkatkan hasil pertanian dan perikanan [9,10-13]. Sistem *smart* akuaponik dapat diimplementasikan dalam ukuran skala kecil sehingga dapat juga diterapkan di rumah ataupun pada lahan kecil dan sempit sehingga cocok untuk *urban farming* [14,15,16].

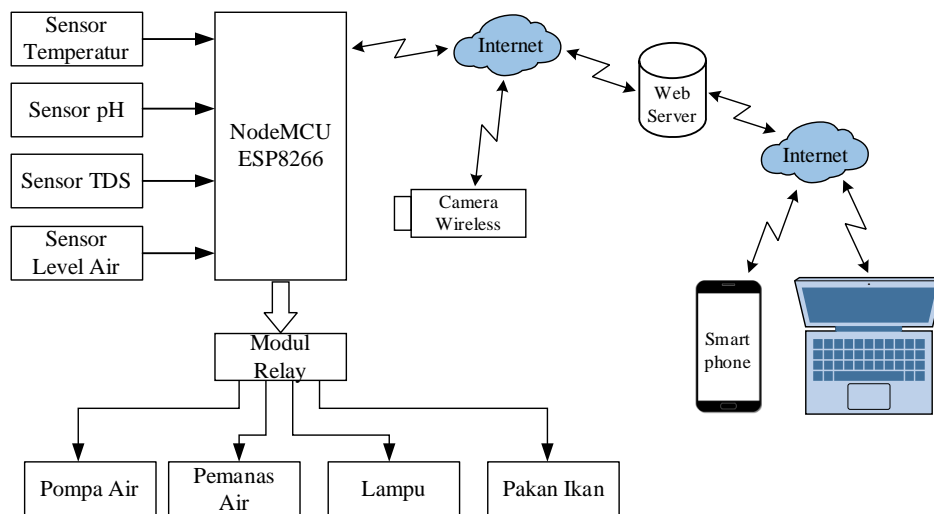
2. PERANCANGAN SISTEM

Metodologi rancang bangun dilakukan secara eksperimental dengan terlebih dahulu menentukan spesifikasi sistem *smart* akuaponik, kemudian merancang dan membangun sistem secara keseluruhan, dan diakhiri dengan pengujian. Perancangan *smart* akuaponik dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

2.1 Perancangan Sistem Perangkat Keras

Pada sistem *smart* akuaponik skala kecil ini terdiri dari beberapa modul sensor dan aktuator. Ada 4 jenis modul sensor yang digunakan yaitu sensor temperatur, sensor jarak, *sensor total dissolved solids* (TDS) [17,18], dan sensor *potential of Hydrogen* (pH) [19,20]. Selain sensor pada sistem *smart* akuaponik juga dilengkapi 4 aktuator agar diperoleh suatu sistem *smart* akuaponik yang handal. Ada 4 jenis aktuator yang ditambahkan pada sistem *smart* akuaponik yaitu pompa air, pemanas air, lampu penerangan dan perangkat pemberi pakan ikan.

Gambar di bawah menunjukkan diagram blok perangkat keras untuk sistem *smart* akuaponik yang telah terintegrasi.





Gambar 2. Diagram blok sistem smart akuaponik

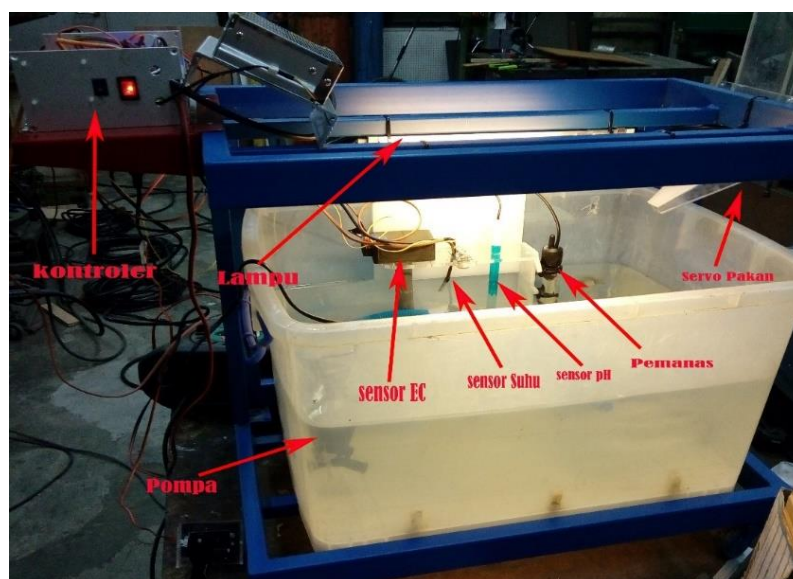
Berdasarkan diagram blok *smart* akuaponik yang dirancang maka dibutuhkan perangkat keras pendukungnya seperti yang diperlihatkan pada tabel di bawah.

Tabel 1. Modul perangkat keras pada sistem *smart* akuaponik

No.	Modul Perangkat Keras	Keterangan
1	NodeMCU ESP8266 Amica 	NodeMCU ESP8266 Amica merupakan modul mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul <i>wifi</i> . Pada modul Amica telah dilengkapi beberapa terminal input output yang akan dihubungkan pada perangkat sensor maupun modul relay.
2	Sensor Temperatur DS18B20 	Modul sensor DS18B20 merupakan modul sensor temperatur yang dapat dihubungkan dengan mikrokontroler. Rentang pengukuran temperatur yang dapat diukur mulai dari -55°C sampai $+125^{\circ}\text{C}$ dengan tingkat keakurasian sebesar $0,5^{\circ}\text{C}$.
3	Sensor pH (<i>potential of Hydrogen</i>) 	Sensor pH berguna untuk mengukur keasaman atau basa pada larutan air. Keasaman dan basa dari air ditentukan oleh jumlah <i>ion hidrogen</i> (H^+) atau <i>ion hidriksil</i> (OH^-). Larutan yang bersifat asam memiliki jumlah <i>ion hidrogen</i> lebih tinggi sedangkan larutan yang bersifat basa memiliki jumlah <i>ion hidriksil</i> lebih tinggi.
4	Sensor TDS 	Sensor TDS berguna untuk mengukur jumlah kepadatan atau partikel yang terlarut pada air, sehingga dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi larutan nutrisi. Satuan yang digunakan pada TDS adalah PPM (<i>Part Per Million</i>).
5	Sensor Ultrasonik HC-SR04 	Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan sensor yang dapat mengukur jarak suatu permukaan. Sensor ini dapat juga digunakan untuk mengukur ketinggian permukaan air.
6	Modul Relay 4 kanal	Modul Relay berguna untuk menyalakan dan mematikan perangkat yang terhubung padanya. Pada

		sistem <i>smart</i> akuaponik ini digunakan modul relay 4 kanal.
7	Pompa Air 	Pompa air berguna untuk mengalirkan air dari kolam ikan menuju bak tanaman sehingga sirkulasi air dapat berjalan pada sistem <i>smart</i> akuaponik.
8	Pemanas Air 	Pemanas air berguna untuk mengatur suhu air pada kolam ikan. Pemanas air ini khusus digunakan untuk akuarium.
9	Lampu 	Lampu berguna sebagai penerangan pada kolam ikan ataupun pada media tanaman.
10	Pakan Ikan 	Perangkat pakan ikan berguna untuk memberikan makanan pada ikan. Wadah pakan ikan ini dapat dibuka dan ditutup dengan menggunakan motor servo sehingga pakan ikan dapat diatur waktu pemberian pakannya.
11	Kamera Wireless 	Kamera berguna untuk memantau area pada perangkat <i>smart</i> akuaponik. Jenis kamera yang digunakan adalah Wifi IP Camera.

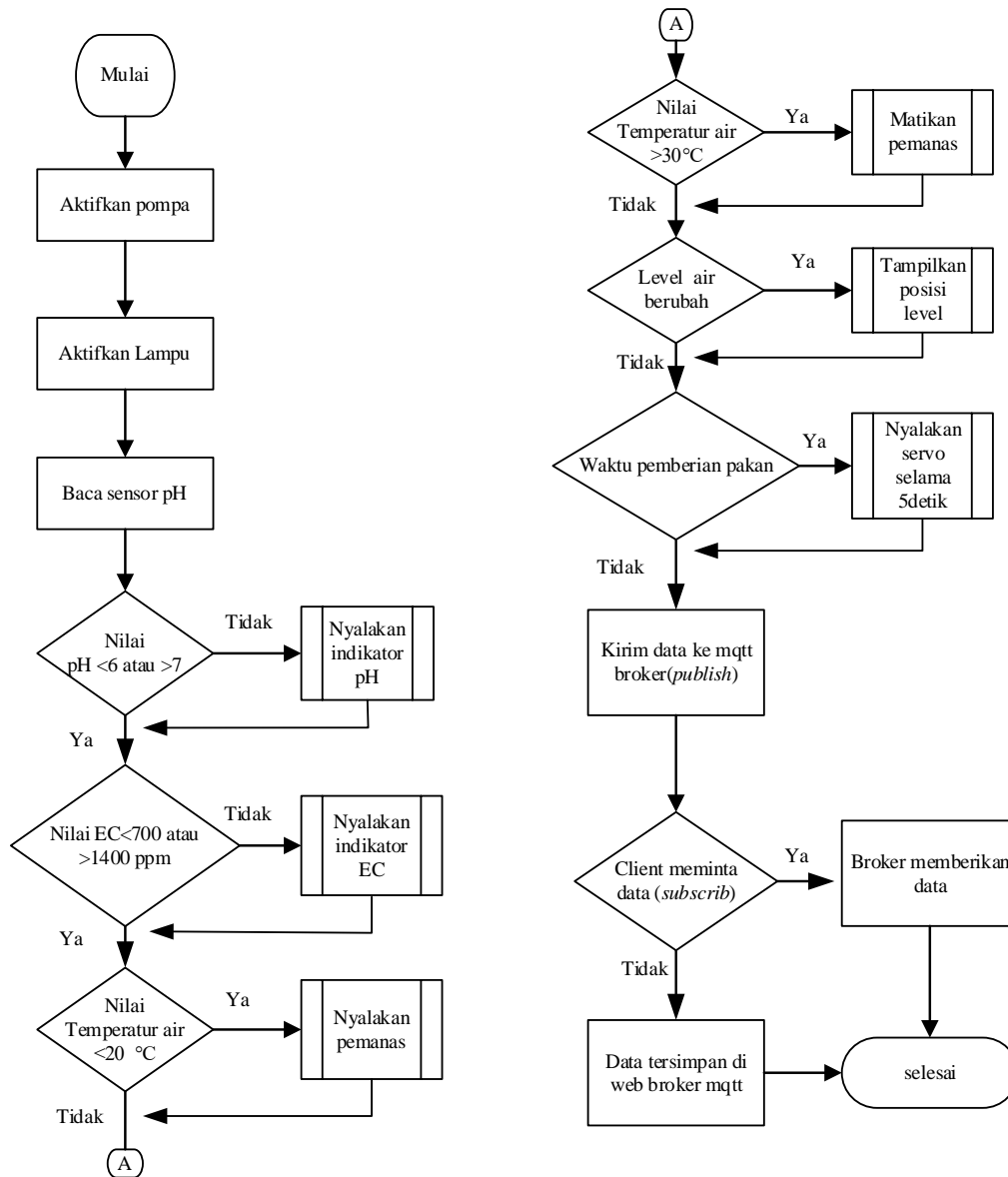
Seluruh data pada sensor temperatur, sensor pH, sensor TDS, dan sensor level air akan dibaca secara terus menerus oleh modul NodeMCU ESP8266. Data sensor yang dibaca akan dikirimkan pada *webserver* melalui internet. Data dari sensor ini dapat dibaca pada *smartphone* ataupun *laptop* yang terhubung pada *webserver* melalui protokol MQTT [21,22]. Melalui aplikasi yang diberikan pada *webserver* perangkat pompa air, pemanas air, lampu dan pemberian pakan ikan dapat dikontrol sesuai dengan kebutuhan. Kamera yang berada pada area *smart* akuaponik juga dapat dikontrol melalui aplikasi pada *webserver*. Gambar di bawah diperlihatkan realisasi *smart* akuaponik skala kecil yang dapat digunakan di rumah.



Gambar 3. Realisasi perangkat keras smart akuaponik

2.1 Perancangan Sistem Perangkat Lunak

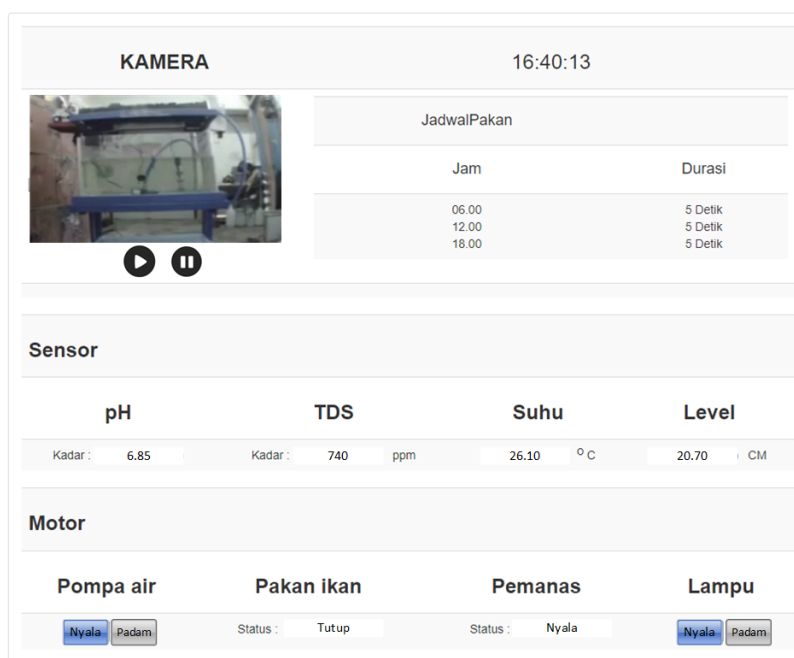
Pembuatan perangkat lunak dibagi menjadi dua bagian yaitu pembuatan kode program yang akan ditanamkan pada modul mikrokontroler NodeMCU Amica dan pembuatan *website* untuk aplikasi *webservice* untuk memantau dan mengontrol sistem *smart* akuaponik. Untuk perancangan program pada Node Amica dapat dilihat pada diagram alir yang diperlihatkan pada gambar di bawah.



Gambar 4. Gambar diagram alir program *smart* akuaponik

Berdasarkan gambar diagram alir di atas hal yang pertama dilakukan adalah mengatur koneksi *wifi* antara modul NodeMCU Amica dan *webservice*, setelah koneksi selesai dilakukan maka selanjutnya adalah mengaktifkan pompa air dan lampu, kemudian membaca sensor pH dan membaca sensor TDS serta membaca sensor temperatur dan sensor level air. Bila dibutuhkan pemberian pakan ikan maka dapat dilakukan dalam waktu 5 detik. Setelah seluruh data terbaca maka selanjutnya data dikirim ke *webservice* dengan menggunakan protokol MQTT. Saat aplikasi digunakan pada sisi *client* maka secara otomatis data akan terbaca. Data akan disimpan serta diperbaharui secara terus menerus pada *webservice*. Untuk tampilan antarmuka aplikasi *smart* akuaponik akan tampak seperti pada gambar di bawah.

SMART AKUAPONIK



Gambar 5. Tampilan antarmuka aplikasi *smart* akuaponik

3. PEMBAHASAN

Pengujian sistem *smart* akuaponik dilakukan terhadap seluruh sensor dan aktuator serta perangkat lunak sebagai pendukung sistem. Adapun sensor yang diuji adalah modul sensor DS18B20 berguna untuk sensor temperatur, sensor ultrasonik HC-SR04 berguna untuk mengukur ketinggian permukaan air terhadap dasar air, sensor pH berguna untuk mengukur keasaman pada air

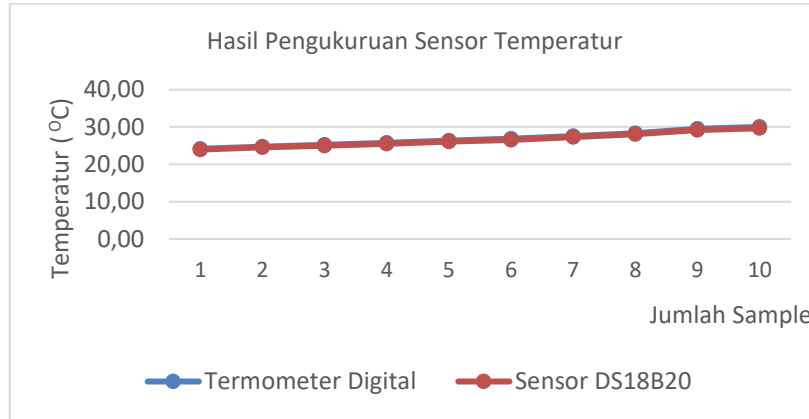
3.1 Pengujian sensor temperatur

Pengujian sensor temperatur DS18B20 dilakukan untuk mengukur tingkat temperatur pada air dengan satuan derajat *Celsius* ($^{\circ}\text{C}$). Sebagai referensi atau pembanding hasil pengukuran DS18B20 maka digunakan alat sensor *Thermometer Digital* dan untuk mengatur temperatur dapat digunakan pemanas air (*heater*). Rentang temperatur air yang diukur adalah 24°C sampai 30°C .

Tabel 2. Hasil pengukuran modul sensor temperatur dari 24°C sampai 30°C

No.	Termometer Digital ($^{\circ}\text{C}$)	Sensor DS18B20 ($^{\circ}\text{C}$)	Selisih (%)
1	24,15	23,95	0,83%
2	24,75	24,55	0,81%
3	25,25	25,00	0,99%
4	25,75	25,50	0,97%
5	26,35	26,10	0,95%
6	26,85	26,55	1,12%
7	27,55	27,25	1,09%
8	28,35	28,05	1,06%
9	29,50	29,20	1,02%
10	30,00	29,65	1,17%
Rata-Rata Selisih			1,00%

Dari hasil pengukuran temperatur pada modul sensor DS18B20 dibandingkan dengan *thermometer digital* diketahui pengukuran dari 24°C sampai 30°C mempunyai selisih atau *error* sebesar 1%.



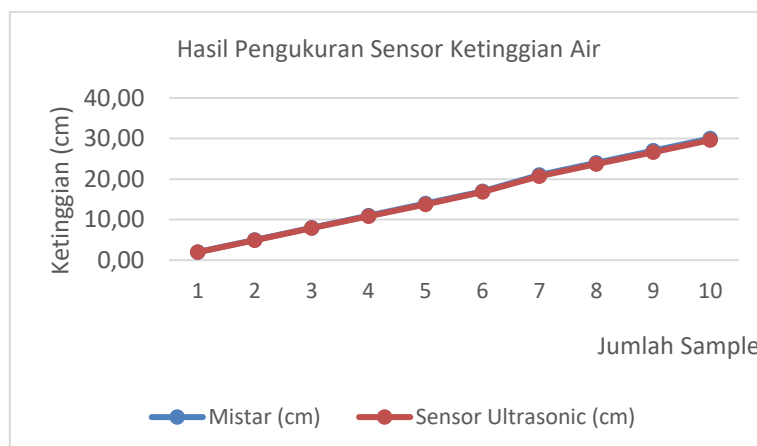
Gambar 6. Grafik hasil pengukuran sensor temperatur

3.2 Pengujian Sensor Ketinggian Air

Untuk mengukur ketinggian air maka dapat digunakan sensor ultrasonik yang diletakkan tegak lurus pada permukaan air sehingga setiap ada perubahan ketinggian permukaan air akan mempengaruhi level ketinggian air.

Tabel 3. Hasil pengukuran ketinggian air sampai 30cm

No.	Mistar (cm)	Sensor Ultrasonic (cm)	Selisih (%)
1	2,00	1,95	2,50%
2	5,00	4,90	2,00%
3	8,00	7,85	1,88%
4	11,00	10,80	1,82%
5	14,00	13,75	1,79%
6	17,00	16,80	1,18%
7	21,00	20,70	1,43%
8	24,00	23,70	1,25%
9	27,00	26,60	1,48%
10	30,00	29,60	1,33%
Rata-Rata Selisih			1,66%



Gambar 7. Grafik hasil pengukuran ketinggian air

Dari hasil pengukuran ketinggian permukaan air dengan menggunakan modul sensor ultrasonik tipe HC-SR04 dibandingkan dengan alat penggaris atau mistar diketahui bahwa pada rentang pengukuran tinggi permukaan dari dasar dengan rentang pengukuran dari 2 cm sampai 30 cm diketahui terdapat selisih atau *error* sekitar 1,66%.

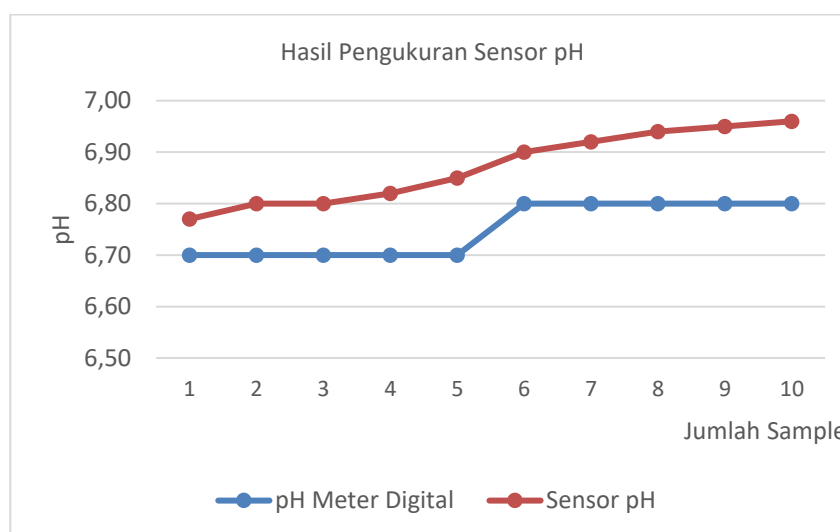
3.3 Pengujian Sensor pH

Untuk melakukan pengujian sensor pH dapat dilakukan dengan cara mengukur parameter asam, basa dan netral dengan cara mengambil sampel air yang kemudian diukur menggunakan sensor pH. Pengujian dilakukan pada perangkat sensor pH dan dibandingkan dengan pH meter yang sudah ada sebagai referensinya. Untuk menentukan parameter atau kalibrasi alat pada modul pH ini dibutuhkan serbuk kalibrasi yaitu pH 4,00 dan pH 6,86 serta menggunakan *pH meter digital*.

Tabel 4. Hasil pengukuran modul sensor pH

No.	pH Meter Digital	Sensor pH	Selisih (%)
1	6,70	6,77	1,04%
2	6,70	6,80	1,49%
3	6,70	6,80	1,49%
4	6,70	6,82	1,79%
5	6,70	6,85	2,24%
6	6,80	6,90	1,47%
7	6,80	6,92	1,76%
8	6,80	6,94	2,06%
9	6,80	6,95	2,21%
10	6,80	6,96	2,35%
Rata-Rata Selisih			1,79%

Dari hasil pengukuran pH pada air larutan pada suhu 25°C dapat diketahui terdapat selisih atau *error* sekitar 1,79% pada modul sensor PH dibandingkan dengan pH meter digital.



Gambar 8. Grafik hasil pengukuran sensor pH

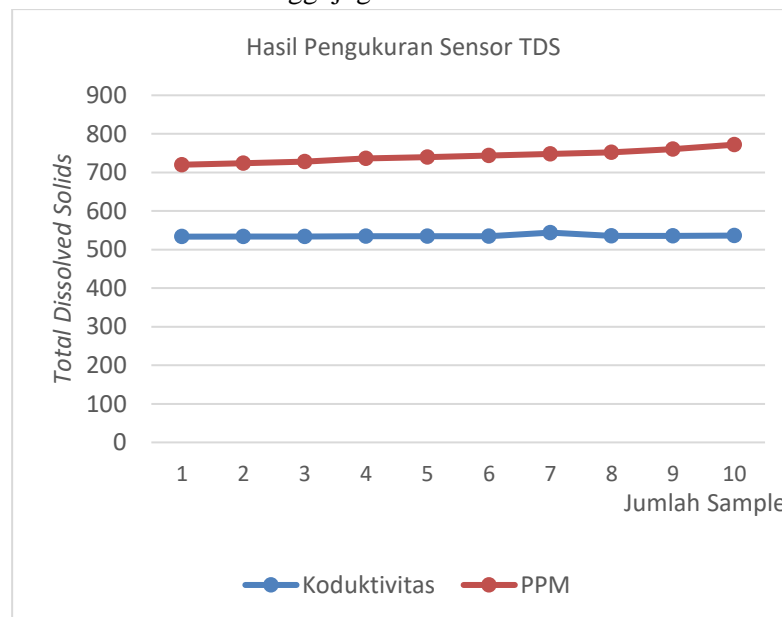
3.4 Pengujian Sensor TDS

Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) berguna untuk mengukur kepadatan partikel yang terkandung pada air sehingga dapat diketahui nilai TDS yang terlarut pada air dalam satuan PPM (*part per millions*), dimana nilai PPM ini akan sangat berpengaruh pada kehidupan ikan dan tanaman. Berkaitan dengan nilai PPM dapat diukur juga nilai konduktivitas pada larutan air yang diukur dengan menggunakan modul TDS.

Tabel 5. Hasil pengukuran modul sensor TDS

No.	Koduktivitas	PPM
1	533,49	720
2	533,7	724
3	533,91	728
4	534,34	736
5	534,56	740
6	534,77	744
7	543,99	748
8	535,2	752
9	535,63	760
10	536,27	772

Pada sensor TDS nilai konduktivitas akan berkaitan langsung dengan nilai PPM, semakin tinggi nilai konduktivitas maka semakin tinggi juga nilai PPM.



Gambar 9. Grafik hasil perbandingan Konduktivitas dan PPM

3.5 Pengujian Aktuator

Aktuator yang digunakan pada *smart* akuaponik yang dirancang adalah motor servo yang berguna untuk memberi pakan ikan, pompa air (*water pump*) untuk mengalirkan air dari kolam ikan pada bak tanaman, pemanas air untuk mengatur temperatur air, lampu untuk menerangi area akuaponik.

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan mengoperasikan seluruh sistem yang dihubungkan melalui internet sehingga alat dapat di kontrol melalui *website* baik dengan menggunakan *laptop* maupun *smartpone*.

Tabel 6. Hasil pengujian aktuator

No.	Aktuator	Hasil Pengaturan
1	Motor servo pakan ikan	Dapat dikendalikan melalui Web Status: Buka atau Tutup
2	Pompa air	Dapat dikendalikan melalui Web Status: Nyala atau Padam
3	Pemanas air	Dapat dikendalikan melalui Web Status: Nyala atau Padam
4	Lampu	Dapat dikendalikan melalui Web Status: Nyala atau Padam
5	Kamera	Dapat dikendalikan melalui Web Status: Play dan Stop

Ada dua kondisi status pada wadah pakan ikan yaitu Buka dan Tutup. Pada saat wadah pakan ikan pada status "Buka" maka pakan ikan akan keluar dari wadahnya selama waktu 5 detik, setelah 5 detik maka wadah pakan ikan akan tertutup kembali. Proses buka tutup wadah pakan ikan ini menggunakan motor servo. Pengujian motor servo pada pakan ini telah bekerja sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Kondisi atau status dari Pompa air yaitu Nyala dan Padam. Perintah menyalakan dan mematikan pompa air dapat dilakukan dengan cara menekan tombol Nyala dan Padam yang berada pada aplikasi *webserver*. Pemanas air berupa pemanas air khusus untuk akuarium yang dapat diatur kondisi Nyala dan Padam melalui tombol yang berada pada aplikasi *webserver*. Lampu penerangan untuk area akuaponik dapat diatur nyala dan padam melalui tombol Nyala dan Padam yang terdapat pada aplikasi pada *webserver*.

Kamera dapat di *Play* dan di *Stop* dengan menekan tombol Play atau Stop yang berada pada aplikasi *Smart Aquaponik*. Kamera yang digunakan berupa Wifi IP Camera. Pada aplikasi ini akan ditampilkan video secara *streaming* dengan kecepatan 30 fps pada format 720p dan rasio aspek 16:9. Pada aplikasi tidak dilakukan penyimpanan video, kamera hanya untuk memantau kondisi disekitar area akuaponik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan sebagaimana dijelaskan pada bab sebelumnya, maka kesimpulan-kesimpulan yang diambil oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Modul NodeMCU ESP8266 mampu dijadikan sebagai mikrokontroler utama pada sistem *monitoring* dan kontrol pada sistem *smart* akuaponik.
2. Modul NodeMCU ESP8266 sudah dilengkapi *wifi* sehingga dapat dijadikan alternatif media transmisi dan penerima untuk melakukan koneksi ke *webserver* melalui jaringan internet.
3. Sistem yang dibangun dapat melakukan *monitoring* dan kontrol pada *smart* akuaponik dengan secara *online* dengan memanfaatkan NodeMCU ESP8266 yang diintergrasikan dengan perangkat lunak *web* sebagai antarmuka *monitoring* dan sistem kendalinya.
4. Kondisi air yang berputar atau bersirkulasi dapat dipantau kondisi airnya seperti temperatur air, keasaman air, mengukur kepadatan partikel air, dan ketinggian air.
5. Sirkulasi air dapat diatur dengan menggunakan pompa air dan temperatur air dapat diatur dengan menggunakan *heater* khusus yang sesuai dengan ukuran akuaponik.
6. Sistem *smart* akuaponik skala kecil ini dapat diterapkan pada jenis tanaman dan ikan yang menggunakan air tawar sebagai media utamanya, contoh kombinasi untuk akuaponik yang dapat

diterapkan pada sesuai dengan pengukuran yang telah dilakukan adalah jenis tanaman Selada dan benih ikan Nila, atau sayur sawi dan benih ikan Mas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wibowo S. 2021, Pemanfaatan Kolam Ikan untuk Budidaya Tanaman dengan Aquaponik, *Dinamisia Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 5:4 921-927.
- [2] Puspita D, Ariyanto D, Rodiansah A, dan Zahar I. 2020. Pemanfaatan Lahan Perkarangan dengan Sistem Aquaponik dalam Menunjang Perekonomian di Desa Sungai Lama, Kabupaten Asahan, Sumatra Utara, *Jurnal Anadara Pengabdian Kepada Masyarakat*. **2:1** 67-71.
- [3] Zidni I, Iskandar, Rizal A, Andriani Y, dan Ramadan R. 2019. Efektivitas Sistem Akuaponik dengan Jenis Tanaman yang Berbeda Terhadap Kualitas Air Media Budidaya Ikan, *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. **9:1** 81-94.
- [4] Handayani, L. 2018. Pemanfaatan Lahan Sempit dengan Sistem Budidaya Aquaponik. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengabdian*. **1:1** 118-126.
- [5] Ruslaini. 2017. Kajian Kualitas Air Terhadap Pertumbuhan Rumput Laut (*Gracilaria Verrucosa*) di Tambak dengan Metode Vertikultur. *Octopus Jurnal Ilmu Perikanan*. 6:1 578-584.
- [6] Nugroho R A, Pambudi L T, Chilmawati D, dan Haditomo A H C. 2012. Aplikasi Teknologi Aquaponik pada Budidaya Ikan Air Tawar untuk Optimalisaasi Kapasitas Produksi. *Jurnal Sianstek Perikanan* 8:1 46-51.
- [7] Boyd, C E. 1998. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama. Alabama Agriculture Experiment Station.
- [8] Zulherman, Ausha H, dan Ulfa R M. 2016. Pengembangan Sistem Smart Aquaponik. *Jakarta. Jurnal Poli-Teknologi*. **15:2** 181-186.
- [9] Haryanto, Ibadillah A F, Alfita R, Aji K, and Rizkyandi R. 2018. Smart Aquaphonic System Based Internet of Things (IoT). *Journal of Physics: Conference Series, Series 1211*.
- [10] Noviardi. 2022. Desain Arsitektur Model pada Smart Aquaponic Berbasis Arduino IoT Cloud. *Jurnal Sistem Informasi dan Informatika (SIMTIKA)*. **5:2** 53-57.
- [11] Merdekawan A P, dan Sari P. 2022, Sistem Awal Rancang Bangun Indoor Farming Monitoring System Berbasis IoT dengan Protokol Websoket, *Jurnal Ilmu Komputer Agri-Informatika*, **9:2** 189-198.
- [12] Nuzuluddin M, Darmawan M I, dan Mandala H. 2022. *Dasar Internet of Things (Mahir IoT dengan ESP8266)*, Jawa Barat. CV Jejak.
- [13] Schwartz M. 2017. *ESP8266 Internet of Things Cookbook*. Birmingham – Mumbai. Packt Publishing.
- [14] Kyaw T K, and Ng A K. 2017. *Smart Aquaponics system for Urban Farming*, Singapore. Elsevier. *Energy Procedia* **143** 342-347.
- [15] Herdiana B, dan Barkatulah M H. 2018, Sistem Smart Urban Gardening Berbasis Internet of Things. *Telekontran*, **6:2** 12-22.
- [16] Somerville C, Cohen M, Pantanella E, Stankus A, and Lovatelli A. 2014. *Small-Scale Aquaponic Food Production Integrated Fish and Plant Farming*. Rome, Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- [17] Rahayuningtyas A., Diang S, dan Susanti N D. 2021. Sistem Deteksi dan Pemantauan Kualitas Air pada Akuaponik Berbasis Android. *Jurnal Riset Teknik Industri (JRTI)*, Balai Riset Standarisasi Industri Samarinda. **15:1** 75-89.

- [18] Jamil A. Ting T S, Abidin Z Z. Othman M, Wahab M H A, Abdullah M F L, Homan M J, Audah L H M, and Shah S M. 2023. Polynomial Regression Calibration Method of Total Dissolved Solid Sensor for Hidroponic System, *Pertanika Journal*. **31:6** 2769-2782.
- [19] Sudewa B, dan Hadiatna F. 2017. Evaluasi Sensor FIT0348 Sebagai Alat Ukur Potential of Hidrogen (PH) Larutan, *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan (JETT)*.
- [20] Rahmanto Y, Rifaini A, Samsugi S, dan Riskiono S D. 2020, Sistem Monitoring PH Air pada Aquaponik Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno, *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam (JTST)* **1:1** 23-28,
- [21] Lehman A S, dan Sanjaya J. 2022. Perancangan Sistem Pemberi Makan Hewan Berbasis IOT dengan Sistem Kontrol Android Menggunakan MVVM dan Clean Architecture. *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan (JETT)*. **9:2** 1218-1231.
- [22] Chaidir R, and Rahman S A. 2020. Rancang Bangun sistem Penjadwalan Berbasis IoT pada Mesin Pelempar Pakan Ikan Menggunakan Komunikasi RF, Bandung. *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan (JETT)*. **7:1** 841-848.
- [23] Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor KEP.02/MEN/2007 Tentang Cara Budidaya Ikan yang Baik.
- [24] Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Praktik Hortikultura yang baik.