

Analisis Perbandingan Produktivitas Material Budidaya Akuaponik Berbasis IoT (Internet of Things) dengan Budidaya Akuaponik Konvensional

Putu Althea Putri Wiradani¹, Lie Jasa², Pratolo Rahardjo³

[Submission: 26-10-2022, Accepted: 07-11-2022]

Abstract— Aquaponics is one of the methods of farming in urban areas that produces fish and vegetables at the same time. One aspect that can improve the quality of aquaponics products such as catfish and water spinach in a short period of time is the addition of Internet of Things (IoT) systems. This technology allows farmers to automate work and monitor aquaponics media remotely. Before applying this technology, it is necessary to analyze to what extent each aquaponics system improves the quality of fish and vegetables. The purpose of this study is to compare the productivity of materials needed to grow catfish and water spinach in IoT-based aquaponics and conventional aquaponics. The parameters studied to support the results of the analysis are fish weight and vegetable weight after 14 days. The results show that the weight of fish and vegetables produced by IoT aquaponics is heavier than that produced by conventional aquaponics, which leads to a higher number of production units. It makes the IoT aquaponics productivity percentage value greater with a productivity difference of 112%, which indicates that the IoT aquaponics system manages the required materials more efficiently in a short period of time.

Keywords— aquaponics, productivity, material productivity, internet of things (IoT)

Intisari— Akuaponik menjadi salah satu metode bercocok tanam wilayah perkotaan (*urban farming*) yang memberikan hasil panen ganda berupa ikan dan tanaman. Salah satu aspek yang dapat dikembangkan untuk meningkatkan kualitas hasil panen akuaponik berupa ikan lele sangkuriang dan tanaman kangkung dalam waktu singkat adalah menambahkan sistem *internet of things* (IoT). Adanya sistem IoT memungkinkan pembudidaya untuk mengotomasi pekerjaan berulang dan memantau media akuaponik dari jarak jauh. Diperlukan adanya analisis hasil panen yang dihasilkan masing-masing sistem akuaponik terlebih dahulu sebelum teknologi tersebut diterapkan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis perbandingan produktivitas material habis pakai untuk menghasilkan panen berupa ikan lele sangkuriang dan kangkung darat oleh dua instalasi akuaponik

menggunakan IoT dan konvensional. Parameter yang diteliti untuk mendukung hasil analisis tersebut adalah berat ikan dan berat kangkung dalam 14 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat ikan dan kangkung yang dihasilkan akuaponik IoT lebih berat daripada akuaponik konvensional sehingga unit produksi yang dihasilkan lebih banyak. Banyaknya unit produksi yang dihasilkan akuaponik IoT membuat persentase produktivitas akuaponik IoT lebih unggul dengan selisih 112%. Tingginya nilai indeks produktivitas akuaponik IoT dibandingkan akuaponik konvensional menandakan bahwa akuaponik IoT lebih efektif dalam mengelola material habis pakai dalam waktu singkat.

Kata Kunci— akuaponik, produktivitas, produktivitas material, internet of things (IoT)

I. PENDAHULUAN

Pertanian organik menjadi salah satu peluang wirausaha yang menguntungkan. Hal tersebut dikarenakan tingginya minat masyarakat untuk beralih mengkonsumsi produk pangan organik berdasarkan survey oleh Statistik Pertanian Organik Indonesia (SPOI), bahwa hampir 64,53% penduduk yang tersebar di 10 provinsi di Indonesia memilih untuk mengonsumsi produk pangan organik [1]. Tingginya permintaan masyarakat terhadap produk pangan organik membuat masyarakat wilayah perkotaan tertarik untuk mengembangkan kegiatan wirausaha berupa pertanian organik dengan memanfaatkan lahan pekarangan rumah yang terbatas menggunakan berbagai metode bercocok tanam, salah satunya adalah metode akuaponik[2]. Akuaponik menjadi salah satu metode pertanian wilayah perkotaan yang menggabungkan dua teknik, yaitu teknik hidroponik dan teknik akuakultur sehingga dapat menghasilkan dua produk berbeda dalam satu kali siklus panen yaitu ikan dan tanaman [3].

Namun, budidaya akuaponik juga memiliki tantangan tersendiri dalam menyeimbangkan parameter tertentu untuk mempertahankan kesuburan tanaman serta kesehatan ikan seperti oksigen terlarut, temperatur air, serta kandungan amonia, fosfat, nitrat hingga pH pada air kolam [4]. Parameter tersebut penting untuk dipantau secara rutin supaya tidak menimbulkan permasalahan pada hasil panen seperti kualitas dan kuantitas panen yang kurang maksimal. Adanya teknologi yang berupa sistem kontrol serta pemantauan media akuaponik berbasis IoT (*Internet of Things*) dapat menjadi solusi untuk mengurangi potensi hasil panen yang kurang maksimal dan memberi kemudahan bagi pembudidaya [5].

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana Jln. Gatot Subroto Timur, Denpasar 80236 INDONESIA (e-mail: putualthea@student.unud.ac.id)

²Dosen, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; e-mail: liejasa@unud.ac.id)

³Dosen, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Tukad Yeh Panan, Blok XIX No.32, Kediri, Tabanan, 82123 INDONESIA (telp: 08155770953; e-mail: pratolo@unud.ac.id)



Penelitian yang dilakukan sebelumnya kebanyakan hanya berfokus pada optimalisasi sistem IoT yang digunakan untuk mempermudah kinerja manusia, seperti menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler dan beberapa sensor seperti DHT22, serta ultrasonik untuk memantau kondisi kelembapan, suhu, dan ketinggian kolam akuaponik yang terhubung dengan aplikasi pada Android [6]. Penggunaan mikrokontroler berjenis Node MCU ESP8266 dilengkapi sensor pH, DS18B20, SRF05 dan kamera mini PC Raspberry Pi juga pernah dipilih dengan media pengiriman data berupa Telegram Bot untuk mempermudah proses visualisasi dan otomasi sistem IoT pada akuaponik [7]. Salah satu penelitian terkait kinerja penerapan sistem IoT pada sistem akuaponik yaitu dengan membandingkan empat variabel yaitu tinggi, lebar, kenaikan berat, serta lebar daun tanaman selada (*Latuca Sativa L.*) selama satu bulan menggunakan beberapa sensor dan aktuator [8]. Hasil penelitian tersebut hanya mengacu pada hasil pertumbuhan tanaman sehingga belum mampu menggambarkan nilai produktivitas yang bisa diperoleh berdasarkan nilai penerimaan terhadap material habis pakai yang digunakan untuk satu kali produksi.

Dengan demikian, untuk menunjukkan keefektifan penerapan sistem IoT pada sistem akuaponik maka diperlukan analisis perbandingan produktivitas antara akuaponik konvensional dengan akuaponik IoT dalam mengelola material produksi terhadap kualitas dan kuantitas panen yang dihasilkan. Nilai produktivitas akan diperoleh dengan membagi nilai unit produksi yang dihasilkan berupa harga jual ikan lele sangkuriang dan kangkung akuaponik dengan total nilai material habis pakai yang digunakan dalam satu kali periode produksi seperti bibit ikan, bibit tanaman, pakan ikan, larutan pH, dan *rockwool*. Semakin tinggi nilai produktivitas yang diperoleh menandakan bahwa sistem akuaponik tersebut lebih efektif dalam mengelola material habis pakai [9]. Teknologi IoT yang digunakan yaitu pemantauan tingkat kekeruhan pada kolam, kadar pH kolam, ketersediaan air kolam, serta sensor LDR. Selain itu, pemantauan dapat dilakukan dimana saja menggunakan aplikasi Blynk yang terhubung dengan modul WiFi ESP8266-01. Hasil dari analisis produktivitas ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk beralih ke sistem akuaponik berbasis IoT untuk meningkatkan kualitas hasil panen dalam jangka waktu pendek khususnya bagi petani budidaya akuaponik.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Produktivitas

Produktivitas dapat diartikan sebagai upaya untuk meningkatkan jumlah hasil dengan mempertahankan biaya yang dikeluarkan, dan bekerja lebih cerdas serta lebih keras dengan pengoperasian secara otomatis untuk mempersingkat proses pengerjaan [10][11]. Perumusan produktivitas merupakan gabungan antara efektivitas serta efisiensi, sehingga *output* menunjukkan hasil atau performansi yang dicapai, dan *input* merupakan keseluruhan sumber daya yang digunakan [12].

$$Productivity = \frac{Output}{Input} \quad (1)$$

Parameter untuk mengukur produktivitas usaha budidaya secara konseptual dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu [13]:

1. Produktivitas Parsial (*partial factor productivity*)

Produktivitas parsial yaitu produksi rata-rata dari suatu faktor produksi yang diukur sebagai hasil bagi total produksi dan total penggunaan suatu faktor produksi. Produktivitas parsial dapat digunakan untuk mengukur material habis pakai, energi, dan lainnya.

$$Single\ factor\ productivity\ (SFP) = \frac{Output}{Labor} \quad (2)$$

2. Produktivitas Faktor Total (*multi factor productivity*)

Produktivitas faktor total digunakan apabila faktor produksi yang digunakan lebih dari satu jenis atau gabungan dari beberapa faktor lainnya.

$$Multi\ factor\ productivity\ (MFP) = \frac{Output}{Labor\ cost + Material\ cost} \quad (3)$$

Produktivitas material merupakan salah satu faktor tunggal tertentu (*single factor productivity*) yang digunakan untuk mengetahui apakah banyaknya material habis pakai yang digunakan untuk memproduksi suatu barang atau jasa dinilai efektif untuk menghasilkan keluaran yang lebih banyak untuk satuan waktu yang sama [14].

B. Penerimaan

Nilai dari penerimaan usaha diperoleh dengan mengalikan unit produksi yang dihasilkan dengan harga jual dari produk atau jasa suatu usaha. *Total revenue* (TR) merupakan total penerimaan, variabel P merupakan harga jual produk, dan variabel Q adalah tingkat produksi usaha per unit [15].

$$TR = P \times Q \quad (4)$$

C. Ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*)

Ikan lele jenis sangkuriang (*Clarias gariepinus*) merupakan hasil perkawinan dari induk ikan lele dumbo Indonesia yang dilakukan oleh Balai Besar Pengembangan Air Tawar Sukabumi (BBPAT). Jenis induk yang digunakan untuk proses perkawinan merupakan induk lele dumbo betina F2 dengan induk lele F2-6 yang menghasilkan generasi F2 yang disebut ikan lele sangkuriang [16].

D. Kangkung Darat (*Ipomea reptans* Poir)

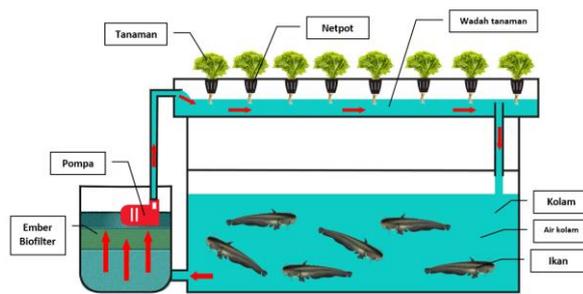
Kangkung darat (*Ipomea reptans* Poir) sangat ideal untuk ditanam di wilayah perkotaan yang kebanyakan memiliki lahan terbatas. Panjang daun kangkung darat sekitar 7-14 cm dan memiliki masa panen yang cukup singkat yaitu 14-28 hari jika menggunakan akuaponik [17].

E. Akuaponik

Akuaponik merupakan hasil perpaduan antara sistem budidaya tanaman secara hidroponik dan akuakultur (budidaya ikan) pada satu tempat. Sistem kerja akuaponik yaitu dengan memanfaatkan kotoran serta sisa pakan ikan menjadi sumber nutrisi bagi tanaman. Adanya metode resirkulasi dapat membawa manfaat baik bagi tanaman agar selalu mendapatkan nutrisi dari limbah ikan dan berperan sebagai biofilter untuk mengurangi limbah pada media budidaya, agar tidak

mengganggu pertumbuhan ikan [18]. Tata cara mengelola akuaponik pada umumnya sebagai berikut [19]:

1. Pemantauan tingkat amonia pada air kolam dapat dilakukan setiap seminggu sekali dengan kadar amonia yang aman adalah kurang dari 0,5 ppm.
2. Pemantauan tingkat pH atau tingkat keasaman yang dilakukan seminggu sekali supaya kualitas air kolam dan sayuran tetap terjaga. Kadar pH yang stabil berada pada kisaran 5-7.
3. Pemantauan tingkat nitrat dilakukan sebulan sekali untuk mencegah kondisi nitrat di atas 150 ppm.
4. Pergantian air dilakukan setiap seminggu sekali dengan membuang 10% hingga 30% air di dalam kolam dan menambahkan dengan jumlah yang sama dengan air baru.



Gambar 1: Sistem Akuaponik

F. Internet of Things (IoT)

Internet of Things atau pada umumnya disebut dengan istilah IoT merupakan sistem tertanam (*embedded system*) yang dirancang untuk menyebarkan pemanfaatan sambungan terus-menerus dari koneksi internet. Penerapan IoT pada seluruh sektor mampu memberikan dampak yang sangat besar karena mampu melakukan kendali jarak jauh hingga berbagi data secara langsung dari berbagai tempat. Salah satu contoh dari penerapan IoT yaitu memungkinkannya pengendalian nyala atau mati lampu oleh pengguna dari jarak yang sangat jauh melalui media yang terhubung dengan internet [20].

G. Arduino Uno R3

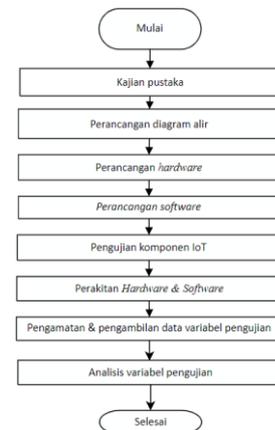
Arduino Uno R3 merupakan salah satu perangkat elektronika yang komponen utamanya adalah sebuah chip mikrokontroler atau IC (*integrated circuit*). Tipe IC yang digunakan adalah tipe ATmega 328 dengan seri CMOS dan berbasis arsitektur RISC. Arduino terdiri dari *hardware* berupa papan *input/output* serta *software* Arduino IDE yang bersifat *open source* untuk menulis kode program[21]. Pada proses pembuatan akuponik IoT, Arduino berperan sebagai komponen pengolah data yang diperoleh dari sensor pH, sensor ultrasonik HC SR04, sensor *turbidity*, dan sensor LDR melalui pin analog dan keluarannya berupa data yang dikirim ke aplikasi Blynk melalui modul WiFi ESP 8266-01 serta aktuator seperti relay dan servo.

III. METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data yang digunakan untuk penelitian ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data langsung di lapangan yang terdiri dari 2 perlakuan:
 - a. Perlakuan 1 (P1) Akuaponik konvensional. Pengurusan air kolam ikan secara manual dilakukan seminggu sekali. Pengukuran kadar pH menggunakan pH meter dilakukan hanya di awal dan akhir periode penelitian. Pemberian makan manual sebanyak tiga kali sehari menggunakan pelet ikan lele.
 - b. Perlakuan 2 (P2) Akuaponik berbasis IoT. Pengurusan air kolam ikan secara manual dilakukan apabila terdapat pemberitahuan tingginya tingkat kekeruhan pada aplikasi Blynk. Pengukuran kadar pH menggunakan pH meter dilakukan hanya di awal dan akhir periode penelitian, selain itu penstabilan dan pengukuran kadar pH dilakukan secara otomatis menggunakan teknologi IoT. Pemberian makan manual sebanyak tiga kali sehari menggunakan pelet ikan lele.
2. Metode pengumpulan data dengan pengkajian studi literatur berdasarkan data yang telah diperoleh.

Tampilan diagram alir untuk tahapan pembuatan dan alur rancangan sistem digambarkan dalam gambar 2.



Gambar 2: Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan melakukan kajian pustaka, perancangan diagram alir untuk sistem IoT, perancangan *hardware*, perancangan *software*, pengujian komponen IoT, perakitan keseluruhan *hardware & software*, pengamatan serta pengambilan data variabel pengujian, hingga menganalisis hasil variabel pengujian.

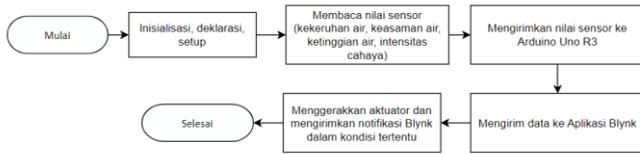
A. Kajian Pustaka

Pada tahap awal penelitian dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi dari jurnal, buku, tugas akhir, artikel ilmiah, hingga *datasheet* komponen elektronika yang terkait dengan topik penelitian.



B. Diagram Alir Akuaponik sistem IoT

Gambaran umum keseluruhan alur sistem IoT pada akuaponik digambarkan pada gambar 3:



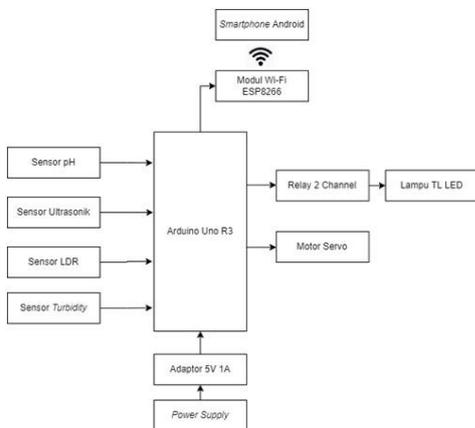
Gambar 3: Alur Sistem IoT

Penjelasan urutan dari alur sistem kerja IoT pada Gambar 1 adalah sebagai berikut:

1. Setelah sistem terhubung dengan *power source* maka sensor akan mulai menginisiasi data yang diterima.
2. Setiap sensor akan membaca nilai kekeruhan air kolam, kadar asam pada air kolam, ketinggian permukaan air kolam, dan intensitas cahaya sekitar.
3. Nilai sensor tersebut akan dikirim ke mikrokontroler Arduino Uno untuk diteruskan ke aplikasi Blynk melalui modul WiFi ESP8266-01 untuk memvisualisasi data sebagai antarmuka dalam bentuk *gauge* dan *labelled value*.
4. Pada batas nilai tertentu yang telah ditentukan maka aktuator seperti motor servo MG90S dan relay akan aktif serta mengirimkan pemberitahuan pada aplikasi Blynk.

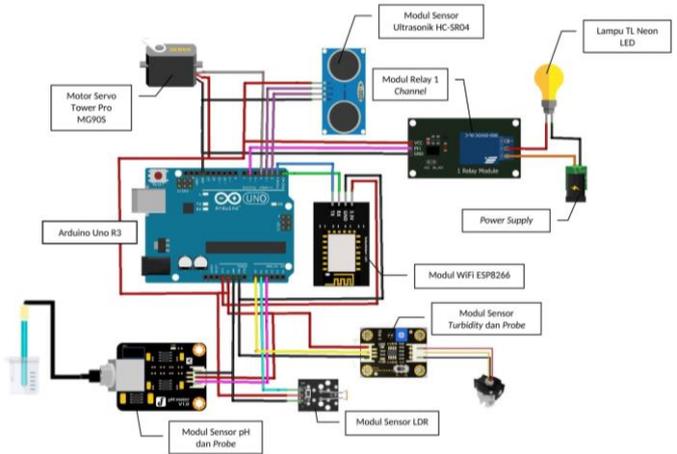
C. Perancangan Hardware

Perancangan *hardware* terdiri dari tiga blok utama yaitu *input*, proses, dan *output*. Blok *input* terdiri dari beberapa komponen yang bertugas mengirimkan data ke mikrokontroler Arduino Uno R3 dalam bentuk hasil pengukuran. Blok proses terdiri dari beberapa komponen yang berfungsi sebagai pengolah data atau pengendali dari hasil pengukuran. Blok *output* terdiri dari beberapa komponen yang bertugas sebagai aktuator pada sistem. Gambaran blok sistem perancangan *hardware* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4: Blok Sistem Hardware Akuaponik IoT

Gambar 4 menunjukkan gambaran diagram blok dari sistem yang akan dirancang. Terdapat empat sensor pada blok *input* yaitu sensor *turbidity* untuk mendeteksi kekeruhan air kolam, sensor ultrasonik HC SR-04 untuk mendeteksi tinggi rendahnya permukaan air pada kolam ikan, sensor pH untuk mendeteksi kadar asam (pH) yang terdapat pada kolam ikan, dan sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya. Pada blok proses terdapat Arduino Uno R3 yang berfungsi menjadi pusat pengendali dari data yang diterima oleh modul sensor serta mengendalikan *output* yang dihasilkan dan modul WiFi ESP8266-01 sebagai perangkat pengirim data dari mikrokontroler dengan aplikasi Blynk pada *smartphone android* melalui internet. Blok *output* terdiri dari aktuator seperti motor servo MG90S yang akan menekan tutup botol cairan pH *up* untuk menyeimbangkan kadar keasaman kolam dan lampu TL LED yang terhubung dengan relay 1 *channel* untuk mengendalikan nyala lampu berdasarkan data yang diterima oleh sensor LDR. Hasil akhir dari perancangan komponen *hardware* sistem IoT dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5: Perancangan Rangkaian Hardware

D. Perancangan Software

Perancangan sistem akuaponik dengan sistem IoT menggunakan beberapa jenis aplikasi yang berbeda, seperti menggunakan *software* Arduino IDE 1.8.16 untuk mengatur mikrokontroler Arduino serta aplikasi Blynk untuk memantau dan menampilkan data dari hasil sensor yang dapat dilihat melalui *smartphone* pengguna.

E. Pengujian Komponen IoT

Pengujian komponen IoT terbagi menjadi beberapa bagian yang bisa mengaktifkan aktuator atau mengirimkan pemberitahuan pada aplikasi Blynk bila memenuhi nilai tertentu seperti yang tertera pada Tabel I.

TABEL I
SKEMA PENGUJIAN SENSOR PADA KONDISI TERTENTU

Jenis Sensor	Kondisi	Aktuator	Aplikasi Blynk
Sensor Ultrasonik HC SR-04	Jarak permukaan air kolam ke sensor > 30 cm	-	Mengirimkan notifikasi berkurangnya air kolam.

Sensor pH	Kadar pH kolam < 4,5	Motor servo MG90S berputar 180° searah jarum jam.	Mengirimkan notifikasi penstabilan kadar pH otomatis.
Sensor Turbidity	Kadar kekeruhan air kolam > 30 NTU	-	Mengirimkan notifikasi kondisi air kolam terlalu keruh.
Sensor LDR	Intensitas cahaya > 700	Relay dalam kondisi <i>normally open</i> dan lampu LED menyala	Mengirimkan notifikasi kondisi menyalakan lampu otomatis.
	Intensitas cahaya < 700	Relay dalam kondisi <i>normally close</i> dan lampu LED menyala	Mengirimkan notifikasi kondisi mematikan lampu otomatis.

Berdasarkan Tabel 1 apabila jarak permukaan air kolam < 30 cm yang berarti kondisi air kolam terlalu sedikit maka aplikasi Blynk akan mengirimkan notifikasi kepada pengguna. Apabila kadar pH kolam terdeteksi < 4,5 maka aktuator berupa motor kedua servo MG90S akan berputar 180° searah jarum jam dan menekan tutup wadah cairan pH *up* dan menuangkannya ke kolam serta mengirimkan notifikasi pada aplikasi Blynk. Apabila kadar kekeruhan kolam mencapai > 30 NTU maka akan muncul notifikasi peringatan aplikasi Blynk pada pengguna. Apabila nilai intensitas cahaya > 700 maka relay akan menyalakan lampu LED dan memberikan notifikasi penghidupan lampu pada aplikasi Blynk, sedangkan jika nilai intensitas cahaya < 700 maka relay akan mematikan lampu TL LED dan memberikan notifikasi pemadaman lampu pada aplikasi Blynk.

F. Perakitan Keseluruhan *Hardware* dan *Software*

Proses perakitan keseluruhan *hardware* dan *software* dilakukan langsung pada prototipe media akuaponik yang sebelumnya telah didesain menggunakan aplikasi *SketchUp* 2020.

Sebelum proses perakitan, benih dari tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*) telah disemai terlebih dahulu selama satu minggu dengan media *rockwool* dengan biji sebanyak 8 sampai 9 biji untuk setiap *rockwool* berukuran 5x5 cm. Benih kangkung darat tersebut nantinya akan dipindah ke *netpot* bediameter 5 cm untuk kemudian diletakkan pada media akuaponik sebanyak 14 buah untuk setiap sistem akuaponik. Jenis benih ikan lele sangkuriang (*Clarias gariepinus*) yang dipilih juga merupakan jenis ikan lele remaja dengan panjang ±10 – 15 cm sebanyak 500 gr sehingga tidak perlu menunggu waktu lama untuk panen.

G. Pengamatan dan Pengambilan Data Variabel Pengujian

Periode pengamatan dan pengambilan data untuk masing-masing sistem akuaponik berlangsung selama 14 hari. Data yang nantinya diambil yaitu berupa berat hasil panen ikan lele sangkuriang dan kangkung darat dalam satu kali masa panen yang akan ditimbang menggunakan timbangan digital dalam satuan gram (g).

H. Analisis Variabel Pengujian

Data berupa berat total ikan lele sangkuriang nantinya akan dibagi tiap 250 gram dan dikali dengan harga jual ikan lele organik. Data berupa total berat kangkung nantinya akan dibagi tiap 50 gram dan dikali dengan harga jual kangkung organik.

Mengacu pada (2) maka dapat ditentukan indeks produktivitas untuk masing-masing akuaponik menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Material productivity} = \frac{\text{Total produksi panen akuaponik (Rp)}}{\text{Harga total material produksi panen (Rp)}} \quad (5)$$

Nilai hasil penerimaan hasil panen akan dijadikan variabel *input*, sementara total biaya material habis pakai akan dijadikan variabel *output*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan

Perancangan instalasi akuaponik untuk mendukung pengambilan data berupa hasil panen ikan lele sangkuriang dan kangkung darat terbagi menjadi 2 perancangan, yaitu perancangan akuaponik konvensional dan perancangan akuaponik berbasis IoT.



Gambar 6: Hasil Perancangan Akuaponik Konvensional



Gambar 7: Hasil Perancangan Akuaponik IoT

Kedua instalasi akuaponik pada gambar 6 dan gambar 7 menggunakan sistem *deep flow technique* (DFT) yang



diadaptasi dari teknik penanaman hidroponik yang terdiri dari 14 lubang tanam dengan pipa PVC berdiameter 2 inci sebagai media untuk penanaman. Diameter pipa PVC yang digunakan untuk membuat kerangka instalasi akuaponik sebesar ½ inci serta menggunakan seng bening sebagai atap instalasi akuaponik. Terdapat sebuah ember biofilter pada masing-masing akuaponik sebagai penyaring mekanis dan biologis dengan yang berisikan arang karbon, paranet, batu apung, busa biofilter, serta bioball jenis rambutan. Pompa air 38W juga dipasang pada ember biofilter untuk proses resirkulasi air kolam menuju media tanam. Pada akuaponik berbasis IoT terdapat empat sensor yaitu sensor *turbidity* sensor ultrasonik HC SR-04, sensor pH, dan sensor LDR. Selain itu juga terdapat aktuator seperti lampu TL LED dan motor servo MG90S. Mikrokontroler berupa Arduino Uno R3 akan menjadi mikrokontroler yang menghubungkan sensor dan aktuator serta mengirimkan data ke aplikasi Blynk melalui ESP8266-01.

B. Perbandingan Penerimaan Hasil Panen

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada sistem akuaponik menggunakan IoT dan konvensional selama 14 hari maka diperoleh data berupa produksi hasil panen berupa ikan lele sangkuriang dan kangkung darat sebagai berikut.

TABEL II
TOTAL BERAT PRODUKSI PANEN SETIAP AKUAPONIK

Sistem akuaponik	Hasil Panen	Gambar	Berat (g)
Perlakuan 1 (Akuaponik konvensional)	Ikan lele sangkuriang		955
	Kangkung darat		22,9
Perlakuan 2 (Akuaponik IoT)	Ikan lele sangkuriang		1044
	Kangkung darat		5,06

Berdasarkan Tabel II maka Akuaponik menggunakan IoT mampu menghasilkan 1044 gram ikan dengan total 11 ikan lele. Sementara itu, akuaponik konvensional hanya mampu menghasilkan 955 gram ikan dengan total 11 ikan lele. Sedangkan akuaponik menggunakan IoT mampu menghasilkan 50,6 gram kangkung darat dari keseluruhan 14 netpot. Sementara itu, akuaponik konvensional hanya mampu menghasilkan 22,9 gram kangkung darat dari keseluruhan 14 netpot. Mengacu pada (4) dan perolehan berat produksi dari hasil panen setiap sistem akuaponik maka diperoleh total penerimaan seperti pada Tabel III dan Tabel IV.

TABEL III
TOTAL PENERIMAAN PANEN IKAN LELE SANGKURIANG

Hasil Panen Selama 14 hari		(Q) Tingkat produksi ikan per 250 gram (Rp)	(P) Harga jual ikan organik per 250 gram (Rp)	(TR = P x Q) Total penerimaan (Rp)
Perlakuan 1 (Akuaponik Konvensional)	Ikan lele sangkuriang	3 kantong	29.370,00	88.110,00
Perlakuan 2 (Akuaponik berbasis IoT)	Ikan lele sangkuriang	4 kantong	24.709,61	98.838,44

Penjelasan total penerimaan pada Tabel III sebagai berikut, mengacu pada Tabel II total produksi ikan lele sangkuriang pada akuaponik konvensional adalah 955 gram, sehingga apabila dijual per 250 gram maka hanya mendapatkan total 3 kantong. Sehingga, total penerimaan yang dapat diperoleh dari penjualan hasil panen ikan lele akuaponik konvensional adalah Rp29.370,00 dikali 3 kantong ikan yaitu sebesar Rp88.110,00. Sementara itu, total produksi ikan lele sangkuriang pada akuaponik menggunakan IoT adalah 1044 gram, sehingga apabila dijual per 250 gram maka akan mendapatkan total 4 kantong ikan lele sangkuriang sehingga total penerimaan yang dapat diperoleh dari penjualan hasil panen ikan lele menggunakan IoT adalah Rp24.709,61 dikali 4 kantong ikan yaitu sebesar Rp98.838,44.

Penentuan harga jual ikan lele diperoleh dengan menambahkan *mark up* sebesar 50% pada *unit cost* ikan lele akuaponik konvensional sedangkan *mark up* sebesar 55% pada *unit cost* penjualan ikan lele akuaponik IoT per 250 gram. Persentase *mark up* akuaponik IoT lebih besar 5% karena biaya pembuatan instalasi akuaponik IoT yang menghabiskan lebih banyak biaya dibandingkan instalasi akuaponik konvensional

TABEL IV
TOTAL PENERIMAAN PANEN KANGKUNG DARAT

Hasil Panen Selama 14 hari		(Q) Tingkat produksi kangkung per 50 gram (Rp)	(P) Harga jual kangkung organik per 50 gram (Rp)	(TR = P x Q) Total penerimaan (Rp)
Perlakuan 1 (Akuaponik Konvensional)	Kangkung darat	0	30.318,29	0
Perlakuan 2 (Akuaponik berbasis IoT)	Kangkung darat	1 ikat	35.000,31	35.000,31

Penjelasan total penerimaan pada Tabel IV sebagai berikut, mengacu pada Tabel II total produksi kangkung darat pada akuaponik konvensional adalah 22,9 gram, sedangkan berat minimal penjualan kangkung organik yaitu 50 gram sehingga hasil panen kangkung selama 14 hari tersebut tidak bisa dihitung total penerimaannya karena tidak memenuhi kriteria berat minimal penjualan. Sementara itu, total produksi kangkung darat pada akuaponik menggunakan IoT adalah 50,6 gram, sehingga apabila dijual per 50 gram maka akan

mendapatkan 1 ikat kangkung organik dengan total penerimaan sebesar Rp35.000,31.

Penentuan harga jual kangkung merupakan hasil dari penjumlahan *unit cost* dengan persentase *mark up* sebesar 35% untuk kangkung darat produksi akuaponik IoT sedangkan persentase *mark up* sebesar 30% untuk kangkung darat produksi akuaponik konvensional per 50 gram. Adanya selisih penentuan nilai *mark up* pada penjualan kangkung darat produksi akuaponik IoT karena instalasi akuaponik IoT membutuhkan lebih banyak biaya sehingga besarnya biaya tetap akan mempengaruhi *unit cost* untuk memproduksi kangkung tersebut.

TABEL V
TOTAL PENERIMAAN PANEN SETIAP AKUAPONIK

Sistem Akuaponik	Total Penerimaan Hasil Panen (Rp)
Perlakuan 1 (Akuaponik Konvensional)	88.110,00
Perlakuan 2 (Akuaponik berbasis IoT)	133.838,75

Tabel V merupakan keseluruhan penerimaan yang diperoleh dalam sekali proses produksi dari ikan lele sangkuriang dan kangkung darat. Akuaponik konvensional memperoleh penerimaan sebesar Rp88.110,00 sedangkan akuaponik IoT memperoleh total penerimaan sebesar Rp133.838,75. Setelah menentukan nilai total penerimaan hasil panen yang diperoleh oleh masing-masing sistem akuaponik, selanjutnya adalah menentukan besar biaya dari material habis pakai yang digunakan dalam satu kali proses produksi.

TABEL VI
TOTAL BIAYA MATERIAL HABIS PAKAI

Material	Kuantitas	Harga satuan (Rp)	Harga total (Rp)
Biji kangkung darat	126 biji	40,00	5.040,00
Potongan kain flanel	14 buah	214,00	2.995,00
Rockwool	14 buah	277,00	3.878,00
Bibit ikan lele sangkuriang	500 g	17.000,00	17.000,00
Pakan ikan lele	250 g	4.000,00	4.000,00
Larutan pH	100 ml	7.800,00	7.800,00
Harga total material habis pakai (<i>Input</i>)			40.714,00

Berdasarkan Tabel VI maka diperoleh total material habis pakai yang digunakan dalam satu kali proses produksi yaitu sebesar Rp40.714,00. Nilai tersebut akan menjadi variabel *input* pada perhitungan nilai produktivitas material untuk masing-masing sistem akuaponik.

C. Perbandingan Produktivitas Hasil Panen

Hasil perhitungan untuk menentukan nilai produktivitas material pada hasil panen pada perlakuan 1 (P1) yaitu akuaponik konvensional dengan menghitung rasio antara masukan berupa hasil penerimaan yang mampu diperoleh dari hasil produksi akuaponik konvensional pada Tabel V dengan keluaran berupa harga total material produksi panen pada Tabel VI dengan mengacu pada (5).

$$\begin{aligned} \text{Material Productivity} &= \frac{\text{Rp}88.110,00}{\text{Rp}40.714,00} \\ &= 2,16 \end{aligned}$$

Sedangkan, untuk menentukan nilai produktivitas material pada hasil panen pada perlakuan 2 (P2) yaitu akuaponik IoT dengan menghitung rasio antara masukan berupa hasil penerimaan yang mampu diperoleh dari hasil produksi akuaponik IoT pada Tabel V dengan keluaran berupa harga total material produksi panen pada Tabel VI.

$$\begin{aligned} \text{Material Productivity} &= \frac{\text{Rp}133.838,75}{\text{Rp}40.714,00} \\ &= 3,29 \end{aligned}$$

D. Analisis Perbandingan Produktivitas Hasil Panen

Berdasarkan perhitungan produktivitas material pada akuaponik konvensional (P1) maka diperoleh hasil indeks produktivitas hasil panen sebesar 2,16 atau sebesar 216% dalam bentuk persentase. Sementara itu berdasarkan perhitungan produktivitas material pada akuaponik menggunakan IoT (P2) maka diperoleh hasil indeks produktivitas sebesar 3,29 atau sebesar 329% dalam bentuk persentase.

TABEL VII
REKAPITULASI PERSENTASE PRODUKTIVITAS MATERIAL HASIL PANEN

Jenis Produktivitas	Akuaponik konvensional (P1)	Akuaponik menggunakan IoT (P2)
Produktivitas Material	216%	329%

Berdasarkan Tabel VII mengenai perbandingan produktivitas hasil panen akuaponik konvensional (P1) dengan akuaponik menggunakan IoT (P2) maka terdapat selisih perbedaan indeks produktivitas sebesar 112% dengan adanya peningkatan indeks hasil panen pada produktivitas material akuaponik IoT. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan akuaponik IoT mampu memperoleh total penerimaan yang lebih besar daripada akuaponik konvensional. Jumlah penerimaan besar tersebut tidak lepas dari adanya peran teknologi IoT yang mampu meningkatkan kualitas hasil panen supaya tumbuh besar dalam waktu yang singkat (14 hari). Apabila tidak ada teknologi IoT maka masa panen singkat tidak dapat dilakukan sehingga akan memerlukan biaya tambahan terutama untuk pembelian pakan ikan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa adanya penerapan teknologi IoT pada sistem akuaponik terbukti mampu meningkatkan nilai penerimaan yang diperoleh sehingga nilai indeks produktivitas material juga akan lebih besar. Nilai persentase produktivitas yang diperoleh akuaponik IoT adalah 329% sedangkan akuaponik konvensional hanya memperoleh 216%.



Selisih indeks produktivitas sebesar 112% menunjukkan bahwa sistem akuaponik menggunakan IoT lebih unggul dan efektif dari segi pemanfaatan material produksi habis pakai untuk menghasilkan hasil panen yang lebih banyak dalam kurun waktu 1 kali produksi.

REFERENSI

- [1] Organic Institute, Yayasan Alifa, dan Kombas.id, *Statistik Pertanian Organik Indonesia 2019*. 2019. [Daring]. Tersedia pada: www.aoi.ngo
- [2] T. Novianti, A. Prabowo, dan R. Hidayati, "Peningkatan Jiwa Kewirausahaan Pemuda Masjid Darussalam Pamulang Timur Tangerang Selatan Melalui BUdidaya Ikan Lele Sistem Akuaponik di Masa Pandemi," *J. Pengabd. Masy.*, vol. 8, no. 3, 2022.
- [3] R. Megasari dan D. D. Trijuno, "Teknologi Aquaponik Tanaman Tomat dan Ikan Nila pada Tiga Jenis Media Tanam dan Frekuensi Pemupukan," *Perbal J. Pertan. Berkelanjutan*, vol. 8, no. 2, hal. 45–47, 2020.
- [4] N. D. Setiawan, "Perancangan sistem Perawatan Aquaponik Tanaman Cabe Rawit dan Ikan Lele Menggunakan Arduino Berbasis Internet of Things," *J. Tek. Inform. Unika St. Thomas (JTIUST)*, vol. 5, no. 1, hal. 2657–1501, 2020.
- [5] P. Rahardjo, "Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pada Tanaman Mangga Harum Manis Buleleng Bali," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, hal. 31, 2022, doi: 10.24843/mite.2022.v21i01.p05.
- [6] N. Rahayu, W. S. Utami, dan M. M. Razabi, "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Pemantauan Aquaponic Berbasis IoT pada Kelurahan Kutajaya," *CCIT (Creative Commun. Innov. Technol. J.)*, vol. 4, no. 2, hal. 192–201, 2018.
- [7] I. M. K. Widiantara, Linawati, dan D. M. Wiharta, "Rancang Bangun Akuaponik Berbasis Internet of Things," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, hal. 243–253, Mar 2021.
- [8] A. S. Syahfril, A. G. Putrada, dan R. R. Pahlevi, "Analisis Kinerja Sistem Internet of Things (IoT) terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) dalam Sistem Akuaponik," in *e-Proceedings of Engineering*, Agu 2021, vol. 8, no. 5, hal. 9932–9939.
- [9] Suhartini dan M. Basjir, "Pengukuran Produktivitas Pada Produk Plastik untuk Meningkatkan Daya Saing," *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 3, hal. 3331–3337, 2022, doi: 10.32672/jse.v7i3.4263.
- [10] E. Kosasih, F. Sutomo, T. Kurnia, dan A. Jusuf, "Analisis Produktivitas Sumber Daya dalam Menurunkan Biaya Produksi untuk Meningkatkan Laba Perusahaan," *J. Ris. Akunt. dan Keuang.*, vol. 8, no. 3, hal. 481–488, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.upi.edu/index.php/JRAK/article/view/22971%0Ahttps://ejournal.upi.edu/index.php/JRAK/article/viewFile/22971/13441>
- [11] S. Kharismayanti, D. A. Puspitaningrum, dan Budiarto, "Analisis Produktivitas Dan Peramalan Produksi Tepung Terigu Pada Pt Indofood Sukses Makmur Tbk.," *J. Agrisociabus*, vol. 1, no. 1, hal. 78–83, 2022.
- [12] T. Hidayat dan R. A. Putra, "Analisis Peningkatan Produktivitas Produksi Mesin Moulding Disamatic Dengan Penerapan Kaizen (Studi Kasus: PT. XYZ)," in *Seminar Nasional IENACO*, 2018, hal. 309–313.
- [13] A. Prayoga, "Produktivitas dan Efisiensi Teknis Usahatani Padi Organik Lahan Sawah," *J. Agro Ekon.*, vol. 28, no. 1, hal. 3–19, Mei 2010.
- [14] A. Habibullah, "Analisis Produktivitas Perusahaan Pengolahan Ikan Menggunakan Metode Objective Matrix (OMAX) dan Traffic Light System (TLS)," 2019.
- [15] F. D. Suryani, A. Boedirochminarni, dan Z. Arifin, "Analisis Pendapatan Home Industry Peuyeum Ketan di Desa Tarikolot Kecamatan Cibeureum Kabupaten Kuningan Provinsi Jawa Barat," *J. Ilmu Ekon.*, vol. 5, no. 2, hal. 294–301, 2021.
- [16] E. S. Prihatini, "Manajemen Pembenihan Ikan Lele Sangkuriang (*Clarias* sp) di Desa Kedunglosari Kecamatan Tembelang Kabupaten Jombang," *J. Ilm. Perikan. Grouper*, vol. 9, no. 1, hal. 22–27, 2018, doi: 10.30736/grouper.v9i1.30.
- [17] A. Adnan, A. Rasyad, dan D. Armaini, "Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans* Por) diberi Trichokompos Jerami Padi," Riau.
- [18] L. E. Rahmadhani, L. I. Widuri, dan P. Dewanti, "Kualitas Mutu Sayur Kasepak (Kangkung, Selada, dan Pakcoy) dengan Sistem Budidaya Akuaponik dan Hidroponik," vol. 14, no. 01, 2020.
- [19] I. Zidni, Iskandar, A. Rizal, Y. Andriani, dan R. Ramadan, "Efektivitas Akuaponik dengan Jenis Tanaman yang Berbeda Terhadap Kualitas Air Media Budidaya Ikan," *J. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 9, no. 2019, hal. 84–91, 2019.
- [20] I. G. H. Putrawan, P. Rahardjo, dan I. G. A. P. R. Agung, "Sistem Monitoring Tingkat Kekeruhan Air dan Pemberi Pakan Otomatis pada Kolam Budidaya Ikan Koi Berbasis NodeMCU," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 1, hal. 1–10, 2020, doi: 10.24843/mite.2020.v19i01.p01.
- [21] S. K. Sarungallo, I. G. P. Raka Agung, dan L. Jasa, "Rancang Bangun Alat Ukur Uji Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis Mikrokontroler," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 1, hal. 141, 2016, doi: 10.24843/mite.1601.19.