

## Smart Aquaponics System Based on IoT

# Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT)

Emira Nylea Nastinka Saiful Masri<sup>1</sup>, Azizul Azhar Ramli\*

<sup>1</sup> *Fakulti Sains Komputer dan Teknologi Maklumat,*

*Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja, Batu Pahat, 86400, MALAYSIA*

\*Corresponding Author: [azizulr@uthm.edu.my](mailto:azizulr@uthm.edu.my)

DOI: <https://doi.org/10.30880/aitcs.2024.05.02.078>

### Maklumat Artikel

Diserah: 13 June 2024

Diterima: 30 October 2024

Diterbitkan: 15 December 2024

### Keywords

Aquaponics, water level, fish, IoT, prototype, database, mobile application

### Kata Kunci

Kata kunci: Akuaponik, paras air, ikan, prototaip, pangkalan data, aplikasi

### Abstract

Aquaponics is the practice of growing plants and fish together in a controlled environment. However, managing an aquaponics system manually presents several challenges, including insufficient personnel to provide close care to the fish and difficulties in monitoring water levels. Additionally, efficient data storage platforms are needed to manage aquaponics data effectively. To address these issues, this project aims to develop a prototype, mobile application, and database for a Smart Aquaponics System based on IoT technology. This system is specifically designed for Johor Aquaponics, a company currently managing its aquaponics system manually. The integration of IoT will enhance monitoring capabilities and streamline the management process, ultimately increasing efficiency and overcoming the limitations of manual management.

### Abstrak

Akuaponik ialah amalan menanam tumbuhan dan ikan dalam habitat terkawal yang mengedarkan air dan nutrien antara keduanya. Masalah utama yang dihadapi dalam sistem akuaponik sedia ada termasuk kekurangan tenaga kerja untuk mengendalikan sistem setiap hari, ketiadaan teknologi yang berkesan untuk memeriksa dalam tangki ikan, serta kekurangan platform penyimpanan data yang efisien. Objektif projek ini adalah untuk membangunkan aplikasi, prototaip, dan pangkalan data untuk sistem akuaponik. Skop projek termasuk membangunkan satu sistem pengendalian akuaponik, sistem pangkalan data, dan aplikasi pemantauan akuaponik melalui telefon pintar. Projek ini berpotensi untuk mencapai matlamat dan memberi penyelesaian terhadap masalah yang dihadapi dengan jayanya. Kepentingan projek ini adalah untuk memastikan sistem akuaponik dapat beroperasi dengan berkesan tanpa perlu dipantau oleh manusia setiap hari.

## 1. Pengenalan

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license.



Nama akuaponik berasal daripada perkataan hidroponik, iaitu amalan menanam tumbuhan tanpa tanah, dan akuakultur, iaitu amalan menternak ikan dalam persekitaran terkurung. Sistem akuaponik tersedia dalam pelbagai saiz, termasuk unit dalaman yang kecil dan sistem komersial yang besar [7]. Akuaponik ialah amalan menanam tumbuhan dan menternak ikan dalam habitat terkawal yang mengedarkan air dan nutrien bolak-balik antara keduanya [4]. Teknik pengeluaran makanan organik dan mesra alam ini menggabungkan aspek terbaik hidroponik dan akuakultur tanpa memerlukan baja kimia, turasan, atau sisa air.

Akuaponik diuruskan oleh petani, di mana mereka bercucuk tanam sambil menternak ikan. Akuaponik boleh dijumpai di kebun ataupun tempat-tempat ternakan ikan. Memandangkan akuaponik merupakan satu sistem yang menggabungkan teknik tanaman sayur dan ternakan ikan, ia juga boleh dijumpai di rumah kerana akuaponik boleh diuruskan oleh sesiapa sahaja yang mempunyai ilmu mengenai sistem ini.

Kepentingan akuaponik bukan sahaja kepada individu tetapi juga kepada masyarakat. Akuaponik mampu menghasilkan tanaman yang lebih sihat kerana ia adalah teknik pertanian tanpa tanah yang tidak menggunakan racun perosak atau baja kimia. Selain itu, bercucuk tanam menggunakan sistem akuaponik dapat menjimatkan air. Akuaponik menggunakan hanya 10 peratus air berbanding pertanian tradisional tetapi masih mampu menghasilkan tanaman yang sama dengan pertanian tradisional. Oleh itu, pembaziran air tidak wujud kerana ekosistem ini bergantung kepada kitaran air yang berulang secara terus.

### 1.1 Pernyataan Masalah

Kekurangan tenaga kerja untuk mengendalikan akuaponik setiap hari boleh menyebabkan pengurusan sistem yang tidak efisien, terutama dalam menjaga keperluan harian ikan. Ikan perlu diberi makan setiap hari untuk memastikan mereka mendapat nutrisi yang mencukupi, yang penting untuk menyalurkan nutrisi kepada tumbuhan agar kekal sihat.

Ketiadaan teknologi berkesan untuk memeriksa paras air juga mengakibatkan sistem akuaponik tidak dapat berjalan dengan baik. Pemeriksaan harian dan penyelenggaraan teliti terhadap paras air adalah penting untuk memastikan air dalam tangki ikan mencukupi.

Selain itu, proses penyimpanan data mengenai sistem akuaponik yang tidak teratur menyebabkan sistem akuaponik tidak dapat dipantau dengan lebih baik. Data yang tepat amat penting bagi memastikan sistem akuaponik sentiasa berada di dalam keadaan yang optimum.

### 1.2 Objektif dan Skop

Pembangunan Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) adalah untuk:

1. Mereka bentuk sistem aplikasi menggunakan pendekatan berorientasikan objek bagi mengawal proses yang dilakukan pada sistem akuaponik melalui telefon pintar.
2. Membangunkan prototaip untuk menguji modul-modul yang terdapat di dalam projek secara lebih terperinci dan sistem pangkalan data untuk menyimpan data mengenai sistem akuaponik
3. Menguji aplikasi, prototaip dan sistem pangkalan data yang telah dibangunkan bagi memastikan ia menepati kehahuan pengguna.

Skop projek ini adalah untuk membangunkan sistem pengendalian akuaponik, pangkalan data dan aplikasi telefon pintar untuk memantau sistem akuaponik. Aplikasi ini membolehkan pekebun atau pengendali akuaponik untuk memantau serta mengawal proses yang berlaku pada sistem akuaponik. Projek ini melibatkan modul penerima kadar paras air, modul penggerak pengepaman air, modul pemberian makanan ikan secara automatic, modul pengurusan maklumat dan modul penjana laporan.

### 1.3 Keputusan Jangkaan

Berdasarkan hasil tinjauan kelayakan projek dan kajian risiko yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat dilihat ialah projek ini mempunyai potensi untuk mencapai matlamat dan memberi jalan penyelesaian terhadap permasalahan yang dihadapi dengan jayanya. Berdasarkan pernyataan masalah, terdapat tiga permasalahan yang dihadapi oleh Johor Aquaponics iaitu kekurangan tenaga kerja untuk mengendali akuaponik setiap hari, ketiadaan teknologi yang berkesan untuk memeriksa kadar paras air di dalam tangki ikan serta kekurangan keberkesanan platform penyimpanan data mengenai akuaponik. Hasil dari pembangunan projek ini, ketiga-tiga masalah tersebut dapat diatasi dengan baik.

### 1.4 Kepentingan Projek

Projek ini penting kerana ia membolehkan sistem akuaponik beroperasi dengan berkesan tanpa pemantauan harian manusia. Data sistem akan disimpan dan dianalisis dengan lebih teratur dan tepat. Projek ini juga membantu petani dan pengendali akuaponik memantau sistem akuaponik melalui aplikasi telefon pintar, yang mampu memberikan kemudahan tambahan dalam pemantauan sistem akuaponik. Antara kepentingan projek ini ialah :

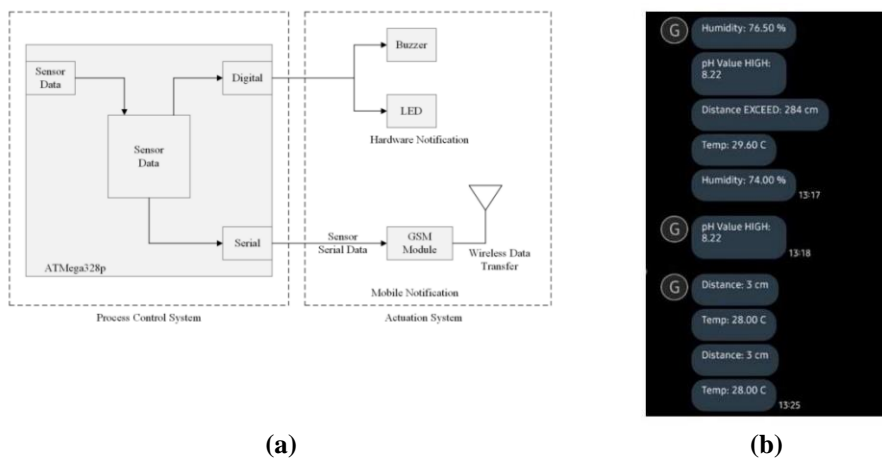
1. Menunjukkan konsep penyimpanan data secara manual kepada sistem pangkalan data yang lebih efektif.
2. Memastikan sistem akuaponik dapat beroperasi dengan lebih teratur dan sempurna.
3. Menjadikan sistem akuaponik lebih maju dengan adanya aplikasi yang dapat mengawal dan memantau sistem akuaponik melalui telefon pintar.

## 2. Kajian Literatur

Kajian literatur adalah analisis mendalam terhadap penyelidikan sedia ada mengenai topik tertentu, yang penting untuk menyediakan asas kukuh bagi projek. Dalam konteks pembangunan projek Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT), kajian literatur meneliti dan mensintesis pengetahuan, teori, dan penemuan sedia ada untuk meningkatkan ciri-ciri sistem. Kajian ini melibatkan analisis tiga sistem sedia ada untuk mengenal pasti ciri-ciri yang boleh diperbaiki. Teknologi Internet Pelbagai Benda (IoT) digunakan dalam pembangunan sistem ini, yang merujuk kepada rangkaian objek dengan penerima, perisian, dan teknologi lain yang membolehkan pertukaran data melalui Internet. Internet Pelbagai Benda (IoT) memungkinkan objek harian menjadi "pintar" dan berinteraksi secara automatik.

### 2.1 Smart Plant Monitoring System Using Aquaponics Production Technological with Arduino Development Environment (IDE) and SMS Alert: A Prototype

Smart Plant Monitoring System Using Aquaponics Production Technological with Arduino Development Environment (IDE) and SMS Alert merupakan sistem akuaponik pintar [1] di mana sensor pH, sensor suhu tumbuhan dan sensor kadar paras air telah dilaksanakan pada sebuah sistem akuaponik. Papan pemuka mudah alih dan sistem notifikasi kepada pengguna juga telah dibangunkan. Sistem ini dibangunkan dengan mengintegrasikan lima modul iaitu sensor pH, sensor suhu tumbuhan, sensor kadar paras air, papan pemuka mudah alih dan sistem notifikasi.

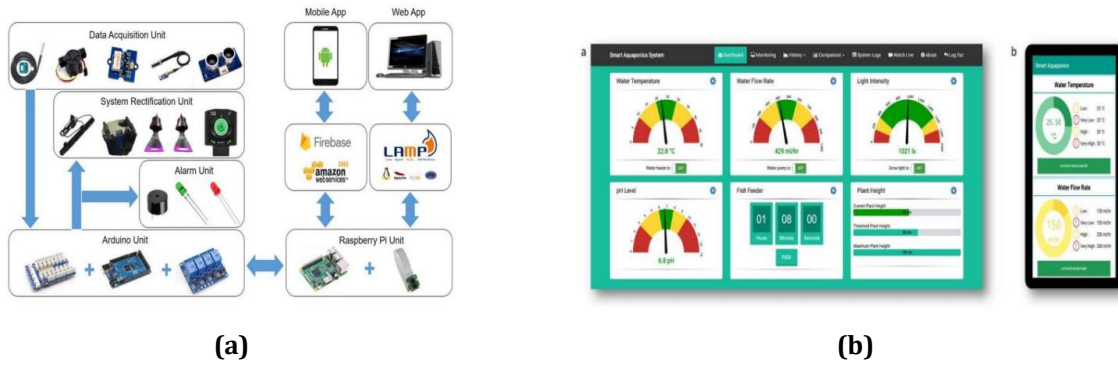


Rajah 1(a) blok lengkap senibina sistem; (b) data yang dikumpulkan dipantau melalui telefon pintar

Modul sensor kadar paras air dan sistem notifikasi yang terdapat pada sistem ini akan ditambah ke dalam projek yang bakal dibangunkan. Kelebihan sistem ini ialah data yang diperoleh dari sensor dapat dipaparkan pada papan pemuka mudah alih dan sistem notifikasi mengenai keadaan akuaponik akan diberikan kepada pengguna. Hal ini bagi memudahkan pemantauan terhadap sistem akuaponik untuk memastikan sistem tersebut berjalan dengan lancar dan segala data dapat dianalisis dengan teliti.

### 2.2 Smart Aquaponics System for Urban Farming

Smart Aquaponics System for Urban Farming [2] merupakan sebuah sistem yang boleh mensinergikan penternakan ikan dan penanaman tanaman dengan mengumpul semua data daripada pelbagai sensor, memantau maklumat sensor dan mengawal sistem sewajarnya. Sistem ini dibangunkan dengan mengintegrasikan tujuh modul yang merupakan data unit pemerolehan. Sistem ini menggunakan lima sensor, unit penggera yang terdiri daripada LED hijau, LED merah, buzzer, unit pembetulan sistem untuk mengaktifkan atau menyahaktifkan penggerak dan unit pemprosesan pusat yang mengandungi dua bahagian iaitu Arduino Mega dan Raspberry Pi, aplikasi web, aplikasi mudah alih dan pelayan awan (*cloud server*).

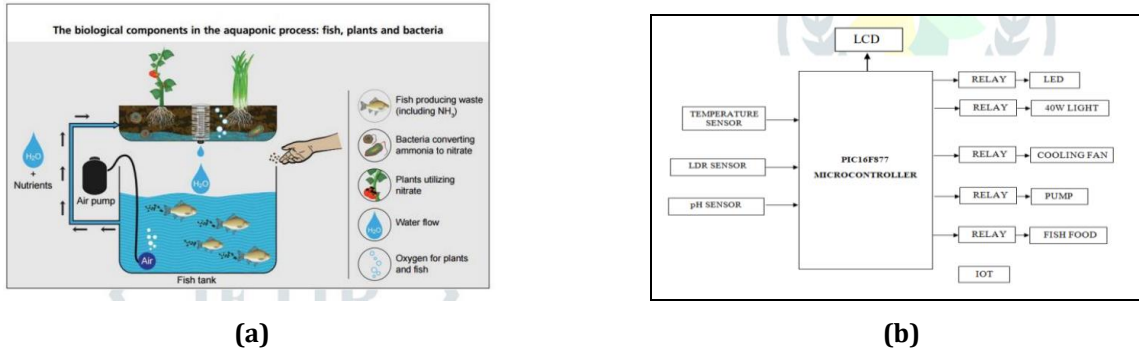


Rajah 2(a) antara muka aplikasi web; (b) antara muka aplikasi web

Fungsi yang terdapat pada sistem ini adalah berkaitan dengan sistem yang bakal dibangunkan di mana data dari pelbagai sensor akan diperolehi dan pemantauan terhadap sistem akuaponik dapat dilakukan dengan lebih terperinci. Kelebihan yang terdapat di dalam sistem ini ialah pengumpulan data daripada sensor yang telah dipasang pada sistem akuaponik. Kelebihan ini akan digunakan dan ditambahbaik dalam projek sarjana muda di mana data yang diperolehi dari sensor akan disimpan secara rapi di dalam sebuah pangkalan data. Hal ini bagi memastikan data tersebut disimpan dengan baik dan dapat dianalisis dengan lebih efektif.

### 2.3 Smart Aquaponics Using IoT

Sistem sensor untuk akuaponik ini menggunakan sensor untuk paras pH air, sensor kadar karbon dioksida, sensor kadar paras air dan sensor ammonia [5]. Fungsi sensor ini dipasang pada akuaponik sistem ada bagi memudahkan pengesanan mengenai kadar pH air, karbon dioksida, kadar paras air dan kadar ammonia yang terdapat di dalam air akuarium ikan. Sensor tersebut memainkan peranan penting di mana dengan pengesanan awal mengenai air di dalam akuarium ikan, ia dapat membantu dalam memastikan kualiti air adalah di tahap yang terbaik untuk disalurkan kepada tanaman. Sistem ini mengintegrasikan enam modul iaitu sensor suhu, sensor LDR, sensor pH, modul lampu, modul kipas dan modul pam air.



Rajah 3(a) integrasi modul dan mikropengawal; (b) integrasi modul dan mikropengawal

Fungsi yang terdapat di dalam projek sedia ada ini berkait dengan projek atau sistem yang bakal dibina di mana sensor yang digunakan di dalam projek ini akan digunakan di dalam projek yang akan dibangunkan kecuali sensor kadar karbon dioksida dan kadar ammonia di dalam air. Kelebihan yang terdapat di dalam sistem sedia ada ini ialah kepelbagaian sensor yang digunakan pakai bagi memperoleh pelbagai jenis data. Kelebihan ini berkait rapat dengan projek yang bakal dibangunkan di mana sensor juga akan dipasang pada sistem akuaponik yang akan dibina sebagai prototaip untuk projek ini dan data daripada sensor tersebut akan disimpan di dalam sebuah pangkalan data sekaligus dapat diakses melalui pelayan awan (*cloud server*) menggunakan aplikasi di dalam telefon pintar.

### 2.4 Perbandingan Sistem Sedia Ada

Pada dasarnya, Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) mempunyai fungsi yang lebih kurang sama jika dibandingkan dengan sistem sedia ada. Namun, modul-modul yang terdapat di dalam sistem tersebut mungkin berbeza. Hal ini kerana skop bagi sistem yang akan dibangunkan dan juga sistem sedia ada adalah berbeza di mana untuk sistem yang akan dibangunkan ini mempunyai skop untuk mengesan kadar paras air, pengedaran semula air ke dalam tangki ikan dan juga pemberi makanan ikan automatik. Jadual 1

menunjukkan perbandingan sistem sedia ada dengan Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT).

**Jadual 1** Perbandingan Sistem Sedia Ada

Ciri-ciri sistem	<i>Smart Plant Monitoring System Using Aquaponics Production Technological with Arduino Development Environment (IDE) and SMS Alert: A Prototype</i>	<i>Smart Aquaponics System for Urban Farming</i>	<i>Smart Aquaponics Using IoT</i>	Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT)
Tujuan	Memantau pH air, suhu tumbuhan dan kadar paras air	Memantau maklumat sensor dan mengawal sistem	Memantau paras pH air, kadar karbon dioksida, kadar paras air dan kadar ammonia	Memantau kadar paras air, pengepaman air dan memberi makanan kepada ikan secara automatik
Log Masuk	X	X	X	X
Notifikasi	√	X	X	√
Laporan	√	X	X	√
Pangkalan Data	X	X	X	√
Aplikasi	X	√	X	√

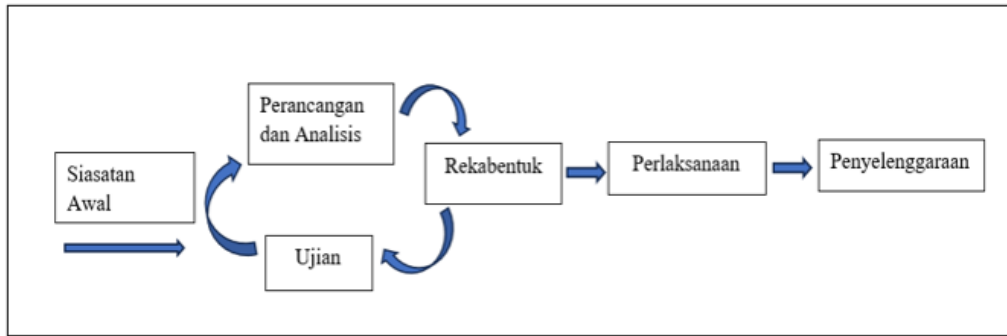
Secara keseluruhannya, bagi sistem Smart Aquaponics Using IoT, sistem tersebut tidak mempunyai sebarang ciri yang dijadikan titik perbandingan iaitu log masuk, notifikasi, laporan, pangkalan data dan aplikasi. Hal ini menunjukkan bahawa sistem ini hanya menggunakan sensor bagi memantau kadar pH, karbon dioksida, ammonia dan paras air. Bagi sistem Smart Plant Monitoring System Using Aquaponics Production Technological with Arduino Development Environment (IDE) and SMS Alert, sistem tersebut mempunyai sistem notifikasi dan modul laporan sahaja. Untuk Smart Aquaponics System For Urban Farming, sistem tersebut mempunyai satu ciri sahaja iaitu sistem aplikasi. Akhir sekali, untuk sistem yang bakal dibangunkan iaitu Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT), sistem ini akan dibangunkan dengan adanya kesemua ciri kecuali log masuk.

### 3. Metodologi/Kerangka Kajian

Prototaip dipilih sebagai model pembangunan adalah kerana ciri-ciri pembangunan produk ini bersesuaian dengan metodologi prototaip. Memandangkan pelanggan belum mengetahui keperluan projek, maka model ini amat sesuai untuk digunakan. Hal ini kerana, model ini membenarkan pelanggan mengenalpasti fungsi yang tiada pada awal projek dibangunkan. Oleh itu, maklum balas dari pelanggan tersebut dapat diambil bagi memberi panduan kepada pembangun dalam proses pembangunan produk dalam memastikan hasil produk tersebut mencapai kemahuan pelanggan. Bukan itu sahaja, hal ini dapat membantu untuk pembangun untuk menukar atau menambahbaik prototaip sekiranya ia tidak menepati keperluan pelanggan.

#### 3.1 Model Prototaip

Di dalam Model Prototaip, terdapat enam fasa yang perlu dilalui bagi membangunkan sesuatu produk. Fasa-fasa ini amat penting untuk diikuti kerana setiap fasa tersebut mempunyai kepentingan yang tersendiri.



**Rajah 4 : Model Prototaip**

Rajah 4 di atas menunjukkan Model Prototaip. Setiap fasa yang perlu dilalui bagi menjayakan projek ini akan dihuraikan dengan lebih lanjut bagi memberikan kefahaman yang lebih mengenai projek ini. Keterangan bagi setiap fasa diterangkan dalam Jadual 2 di bawah.

**Jadual 2 Keterangan setiap fasa**

Fasa	Keterangan
Fasa Perancangan dan Analisis	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Objektif fasa ini dilakukan adalah untuk mengumpul data yang diperlukan bagi menjayakan projek ini sekaligus menepati keperluan pelanggan.</li> <li>▪ Penyelidikan terhadap Syarikat Johor Aquaponics di Batu Pahat dilakukan.</li> <li>▪ Analisis juga dilakukan bagi mendapatkan informasi mengenai bagaimana syarikat tersebut mengendalikan sistem akuaponik sedia ada. Dari situ, keperluan pelanggan dapat diketahui dan dapat membantu untuk membina projek dengan objektif yang betul.</li> <li>▪ Soal selidik telah diadakan terhadap syarikat tersebut bagi mengetahui lebih lanjut mengenai akuaponik dan juga apa yang diharapkan oleh pihak syarikat mengenai projek ini.</li> <li>▪ Matlamat khusus untuk pembinaan sistem akuaponik pintar ini adalah untuk meningkatkan kecekapan dan produktiviti sistem akuaponik. Dengan mengautomatiskan tugas dan pemantauan data dalam masa nyata, ia dapat membantu meningkatkan produktiviti sistem akuaponik.</li> <li>▪ Pengurangan campur tangan manual dapat meminimumkan keperluan pekerja dan pengurusan sistem akuaponik akan menjadi lebih teratur.</li> <li>▪ Pemilihan komponen sistem dibuat bagi memilih komponen yang sesuai untuk membina prototaip serta apikasi untuk sistem akuaponik pintar.</li> </ul>
Fasa Rekabentuk	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fasa ini melibatkan mempertimbangkan dengan teliti komponen sistem, susun atur, logik kawalan dan ketersambungan IoT untuk memastikan operasi dan kecekapan yang optimum. Proses pengujian dan penambahbaikan dilakukan untuk memastikan berfungsi dengan betul</li> </ul>
Fasa Perlaksanaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fasa ini melibatkan pelaksanaan teliti elemen reka bentuk, penyepaduan komponen, dan ujian teliti untuk memastikan keberkesanan dan kemampuan sistem.</li> <li>▪ Komponen fizikal sistem akuaponik, termasuk tangki ikan, tumbuhan, penderia, penggerak pam air, penggerak pemberian makanan ikan dan mikropengawal, dipasang mengikut susun atur reka bentuk.</li> <li>▪ Proses penentukuran dan penyepaduan penderia berfungsi untuk memberikan ukuran data kadar paras air yang tepat dan boleh dipercayai. Ia kemudiannya disepadukan dengan mikropengawal, memastikan penghantaran data yang betul dan penyegerakan dengan logik kawalan.</li> <li>▪ Penggerak dikonfigurasi untuk bertindak balas terhadap isyarat kawalan daripada mikropengawal. Proses pengaturcaraan dan penyepaduan mikropengawal pula diprogramkan dengan logik kawalan yang dibangunkan semasa fasa reka bentuk.</li> <li>▪ Pengujian modul komunikasi IoT berfungsi untuk memastikan penghantaran data ke dalam pangkalan data selamat ke platform awan.</li> </ul>

Fasa	Keterangan
Fasa Pengujian	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tujuan fasa pengujian adalah melakukan ujian atau siasatan awal terhadap prototaip yang telah dibina.</li> <li>▪ Proses pengujian unit dan fungsi modul menumpukan pada pengesahan ketepatan dan kefungsi modul dalam sistem. Jenis pengujian fungsi modul yang digunakan ialah ujian kotak hitam dan ujian kotak putih</li> <li>▪ Proses ujian integrasi antara modul dan sistem amat penting kerana ia melibatkan pengesahan bahawa komponen individu sistem, termasuk penerima, penggerak, mikropengawal, aplikasi, pangkalan data dan modul komunikasi IoT, berfungsi dengan lancar bersama-sama sebagai sistem bersatu. Proses ini memastikan bahawa sistem memenuhi objektif reka bentuk keseluruhannya dan berfungsi seperti yang diharapkan dalam pelbagai keadaan operasi.</li> <li>▪ Pengujian komponen sistem berperanan untuk memastikan komponen-komponen dalam sistem akuaponik pintar ini berfungsi dengan betul. Komponen yang digunakan bagi membangunkan projek ini ialah penerima, penggerak, mikropengawal, perkakasan untuk membina prototaip sistem akuaponik, pangkalan data dan aplikasi.</li> <li>▪ Proses ujian fungsian keseluruhan sistem melibatkan pengesahan bahawa komponen sistem, interaksi dan kefungsi keseluruhan memenuhi keperluan yang ditetapkan dan beroperasi seperti yang dimaksudkan.</li> <li>▪ Proses yang terakhir ialah ujian penerimaan pengguna terhadap sistem yang dibina. Ia melibatkan penglibatan bakal pengguna dalam proses ujian untuk mengumpulkan maklum balas tentang kebolegunaan sistem, fungsi dan keberkesanan keseluruhan.</li> </ul>
Fasa Penyelenggaraan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fasa ini melibatkan pemantauan berterusan, penyelenggaraan pencegahan dan tindakan pembetulan untuk mengekalkan prestasi optimum, mencegah isu yang berpotensi dan memanjangkan jangka hayat sistem.</li> <li>▪ Pemantauan berkala dilakukan di mana sistem dipantau secara berterusan, seperti kadar paras air, kesihatan ikan dan tumbuhan, jangka hayat sensor, keberkesanan penggunaan aplikasi dan pangkalan data. Pemantauan ini adalah untuk memastikan ia kekal dalam julat optimum.</li> <li>▪ Penyelenggaraan dijalankan dengan kerap seperti membersihkan sensor dan tangki ikan, penentuan aktuator, memeriksa sambungan elektrik, memeriksa peralatan serta kebolegunaan aplikasi dan pangkalan data untuk mengelakkan masalah yang mungkin berlaku dan memastikan integriti sistem.</li> </ul>

Keperluan fungsian merujuk kepada spesifikasi dan keupayaan yang perlu ada pada sistem, perisian atau produk untuk memenuhi tujuan yang dimaksudkan dan melaksanakan fungsinya dengan berkesan. Keperluan ini menerangkan perkara yang sepatutnya dilakukan oleh sistem dan biasanya mentakrifkan kelakuan sistem dalam keadaan tertentu. Dalam konteks pembangunan perisian atau reka bentuk sistem, keperluan fungsian memperincikan ciri, fungsi dan keupayaan khusus yang diinginkan oleh pengguna. Keperluan ini sering menjadi asas untuk proses reka bentuk, pembangunan, ujian dan pelaksanaan sistem. Jadual 3 di bawah menunjukkan keperluan fungsian untuk Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT).

**Jadual 3 Keperluan Fungsian**

No	Modul	Penerangan
1	Modul Penderia Kadar Paras Air	Membenarkan pengguna melihat kadar paras air di mana penerima akan digunakan untuk mengesan kadar paras air dalam tangki ikan.
2	Modul Penggerak Pengepaman Air	Membenarkan tangki air ikan mempunyai bekalan air sandaran.
3	Modul Penggerak Pemberian Makanan	Membenarkan pengguna mengklik pada butang di dalam aplikasi untuk memulakan atau menghentikan proses pemberi makanan automatik.
4	Modul Pengurusan Maklumat	Membolehkan pengguna melihat keadaan akuaponik, data disimpan dalam pangkalan dan pengguna menerima notifikasi mengenai sistem akuaponik
5	Modul Penjana Laporan	Sistem ini mampu menjana laporan apabila diminta

Keperluan bukan fungsi dirujuk sebagai keperluan kualiti atau tambahan merupakan spesifikasi yang menerangkan ciri atau kualiti yang mesti ada pada sistem, tetapi yang tidak berkaitan secara langsung dengan fungsi khusus sistem. Keperluan ini mentakrifkan bagaimana sistem harus melaksanakan fungsinya dan bukannya fungsi yang harus dilakukannya. Keperluan tidak berfungsi adalah penting untuk memastikan sistem beroperasi dengan berkesan dan memenuhi jangkaan keseluruhan mengenai prestasi dan kebolegunaan sesuatu sistem. Jadual 4 menunjukkan keperluan bukan fungsian untuk Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT).

**Jadual 4** Bukan Fungsian

No	Keperluan	Penerangan
1	Prestasi	Sistem, aplikasi dan platform pangkalan data harus sentiasa boleh digunakan.
2	Operasi	Masa memuatkan yang diperlukan untuk aplikasi adalah tidak lebih daripada 1 minit.
3	Kebolegunaan	Aplikasi harus mesra pengguna
4	Keserasian	Sistem akuaponik pintar boleh disepadukan dengan lancar dengan pelbagai penderia dan peranti yang biasa digunakan dalam persediaan akuaponik
5	Pengurusan data	Data harian mengenai akuaponik boleh dijana melalui aplikasi.
6	Kebolehskaaan	Sistem harus menyediakan antara muka yang intuitif dan mesra pengguna untuk pengguna baru dan berpengalaman.

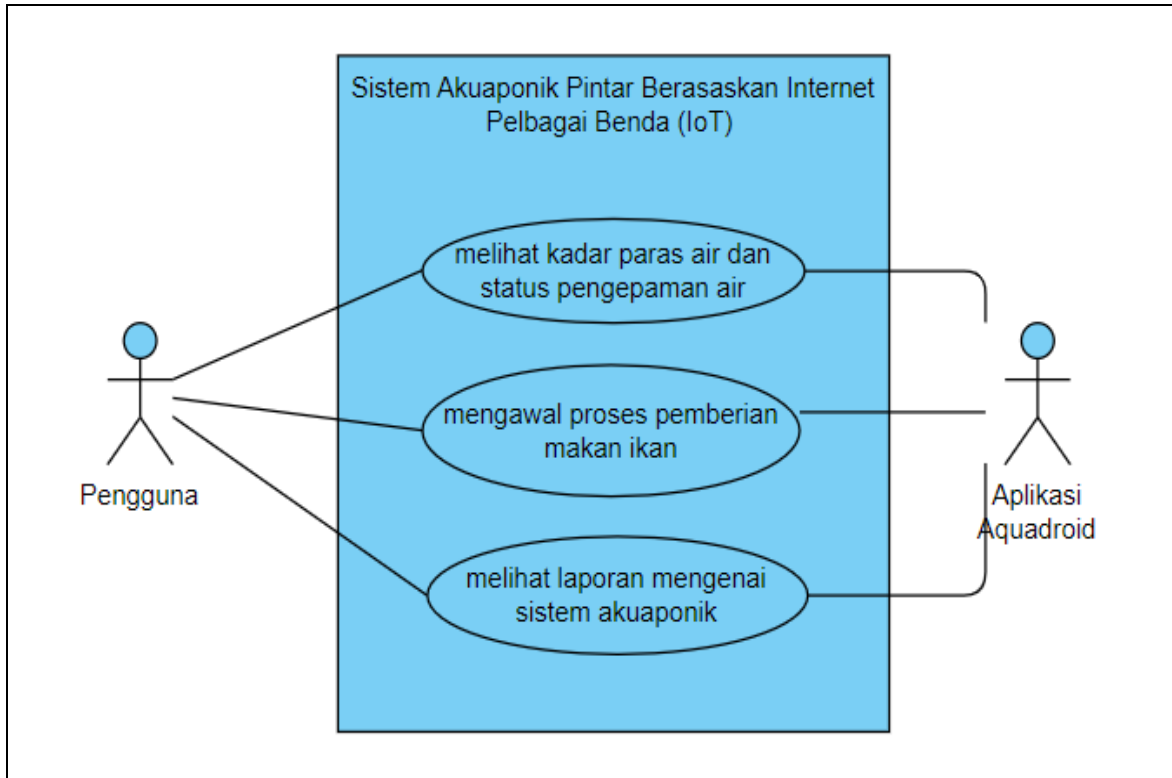
Keperluan tidak berfungsi adalah penting untuk memastikan sistem beroperasi dengan berkesan dan memenuhi jangkaan keseluruhan mengenai prestasi dan kebolegunaan sesuatu sistem. Tidak seperti keperluan fungsian yang menumpukan pada ciri atau fungsi tertentu, keperluan bukan fungsi menyediakan kriteria untuk prestasi keseluruhan dan tingkah laku sistem secara keseluruhan

#### 4. Analisis dan Rekabentuk

Reka bentuk sistem menerangkan keseluruhan struktur atau aliran sistem termasuk fungsi sistem. Secara tidak langsung, ia akan mengurangkan jurang antara keperluan dan sistem yang dicadangkan. Ia juga memindahkan fungsi sistem yang dicadangkan ke dalam rajah grafik mengikut keperluan khusus. Dalam bahagian ini, reka bentuk sistem yang dicadangkan diterangkan. Pendekatan berorientasikan objek diguna untuk menghasilkan gambar rajah UML iaitu Rajah Guna Kes, Rajah Kelas dan Carta Alir Sistem.

##### 4.1 Rajah Guna Kes

Rajah guna kes ialah naratif yang menerangkan cara pengguna berinteraksi dengan sistem untuk mencapai matlamat tertentu. Penggunaan rajah guna kes dapat meningkatkan kualiti sistem yang akan dibangunkan. Hal ini kerana guna kes boleh digunakan untuk menguji kualiti sistem. Dengan memastikan sistem boleh mengendalikan semua guna kes, maka sistem yang dibangunkan akan memenuhi keperluan pengguna.



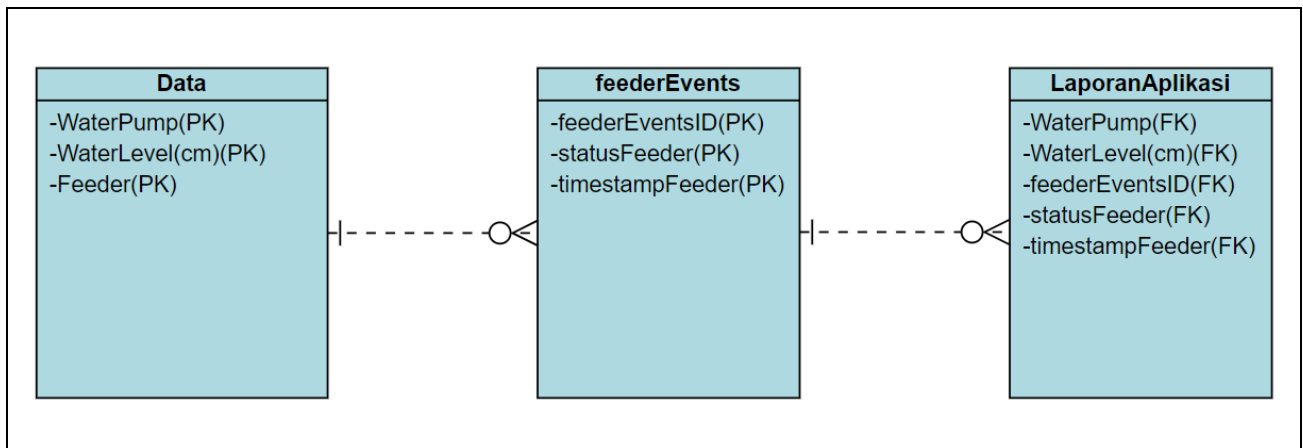
**Rajah 5 :** *Rajah Guna Kes*

Rajah 5 menunjukkan rajah guna kes yang mewakili keseluruhan aktiviti untuk Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT). Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) mempunyai tiga guna kes utama iaitu pemantauan paras air dan status pengepaman air, kawalan pemberian makanan ikan, dan melihat laporan sistem. Melalui aplikasi Aquadroid, pengguna dapat memantau paras air dalam tangki ikan

dan status pengepaman, yang akan beroperasi secara automatik jika paras air tidak optimum. Pengguna juga boleh mengawal pemberian makanan ikan dengan butang "Mula" dan "Berhenti" pada aplikasi. Selain itu, pengguna dapat melihat data dan keadaan sistem akuaponik melalui paparan pada aplikasi Aquadroid.

#### 4.2 Rajah Kelas

Hubungan antara kelas dikenal pasti iaitu Data,waterpumpEvents,feederEvents dan LaporanAplikasi. Setiap kelas mempunyai ciri dan operasi tersendiri. Gambar rajah kelas yang dibuat akan menunjukkan hubungan setiap kelas yang berkaitan.

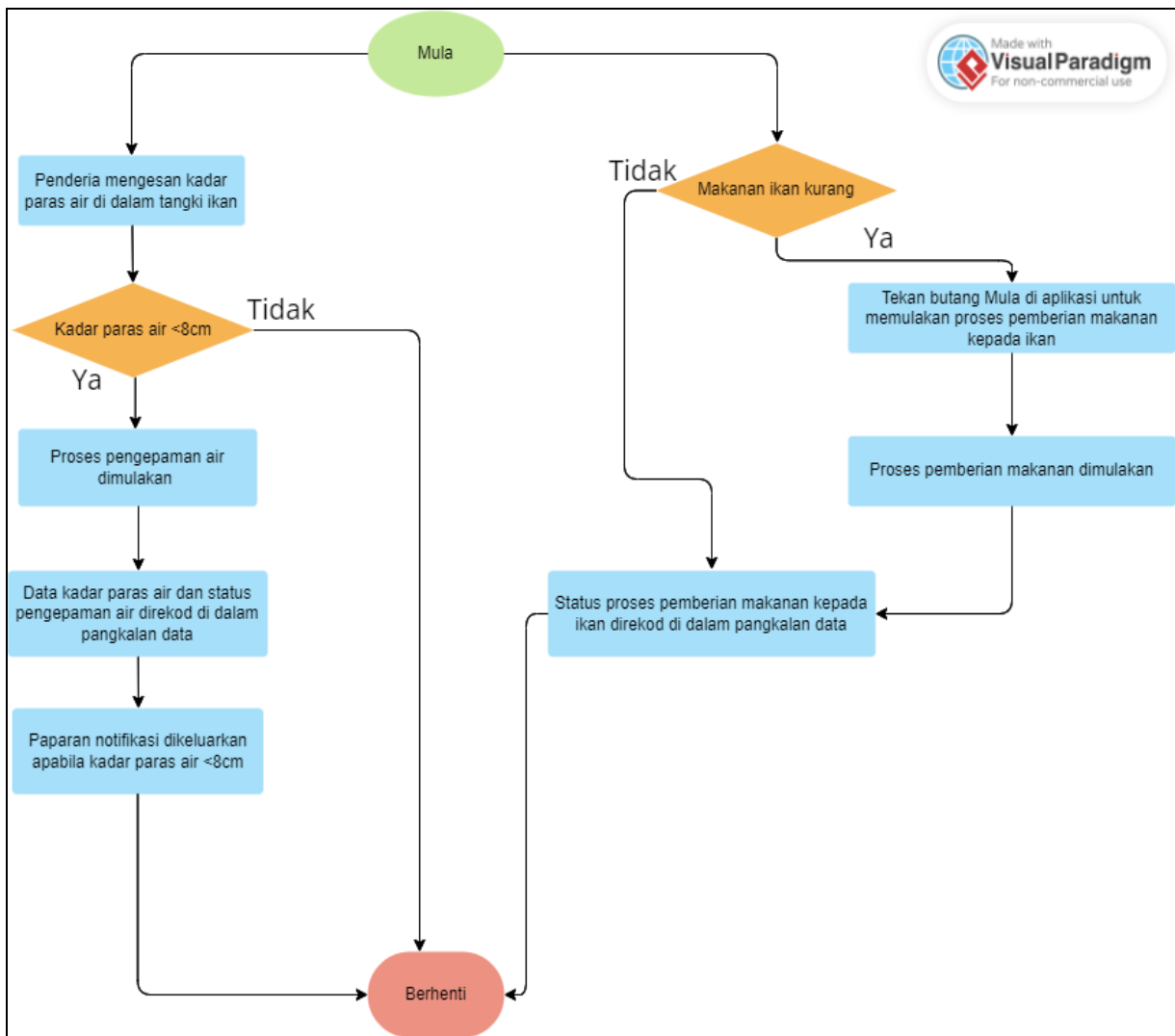


**Rajah 6 :** *Rajah Kelas*

Rajah di atas menunjukkan rajah kelas untuk Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT). Rajah kelas untuk Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) menunjukkan empat kelas utama iaitu Data, waterpumpEvents, feederEvents dan LaporanAplikasi. Data menunjukkan data mengenai keseluruhan sistem. Untuk feederEvents dan waterpumpEvents, kedua kelas tersebut menyimpan data mengenai cap masa dan status pemberian makanan serta pengepaman air. Akhir sekali ialah LaporanAplikasi di mana data mengenai sistem akuaponik akan dipaparkan pada halaman jana laporan di dalam aplikasi Aquadroid.

#### 4.3 Carta Alir Sistem

Carta alir juga merupakan alat yang membantu dalam memahami, mendokumentasi dan menambah baik proses sesuatu sistem. Carta alir untuk Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) telah dikenalpasti dan ditunjukkan di dalam rajah di bawah.

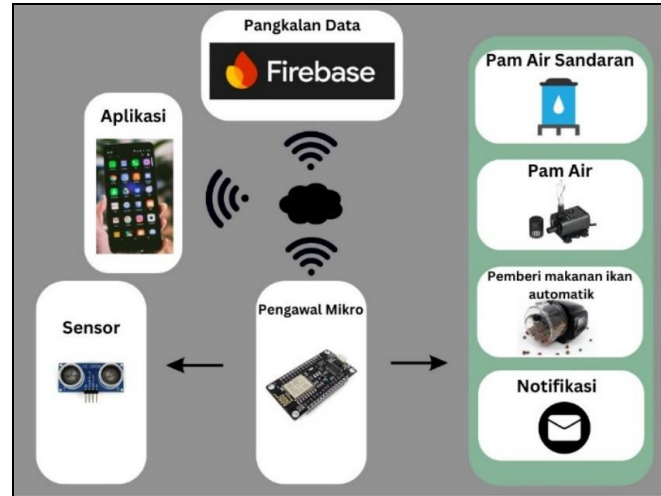


**Rajah 7 : Carta Alir Sistem**

Dari carta alir, langkah-langkah Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) terlihat jelas dan teratur. Penderia mengesan paras air dalam tangki ikan. Jika kurang dari 6cm, penggerak mengepam air ke dalam tangki, menyimpan data ke pangkalan data, dan memaparkan notifikasi kepada pengguna. Jika paras air baik, tiada tindakan diambil. Untuk pemberian makanan, pengguna menekan butang "Mula" atau "Berhenti" dalam aplikasi, dan penggerak akan memberi makan jika makanan kurang, dengan status direkodkan dalam pangkalan data. Jika makanan mencukupi, tiada tindakan diambil.

#### 4.4 Senibina Sistem

Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) melibatkan penyepaduan komponen perkakasan dan perisian untuk memantau dan mengawal persekitaran akuaponik dengan cekap. Penyepaduan yang tepat antara sistem akuaponik, pangkalan data, aplikasi telefon pintar, penderia, dan penggerak diperlukan untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik dan sistem beroperasi dengan lancar.



Rajah 8 : Senibina Sistem

Rajah 8 menunjukkan seni bina sistem bagi Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT). Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) mempunyai lapan komponen penting iaitu penderia ultrasonik untuk memantau paras air, pengawal mikro ESP8266 untuk penyepaduan dan kawalan, aplikasi telefon pintar untuk pemantauan dan kawalan jarak jauh, pangkalan data Firebase untuk menyimpan data, pam air sandaran untuk menyediakan air jika paras air berkurang, pam air untuk menyalurkan air ke tangki, pemberi makanan ikan automatik untuk memberi makanan berdasarkan arahan pengguna, dan komponen paparan notifikasi untuk memaparkan notifikasi kepada pengguna mengenai proses sistem

#### 4.5 Prototaip Sebenar

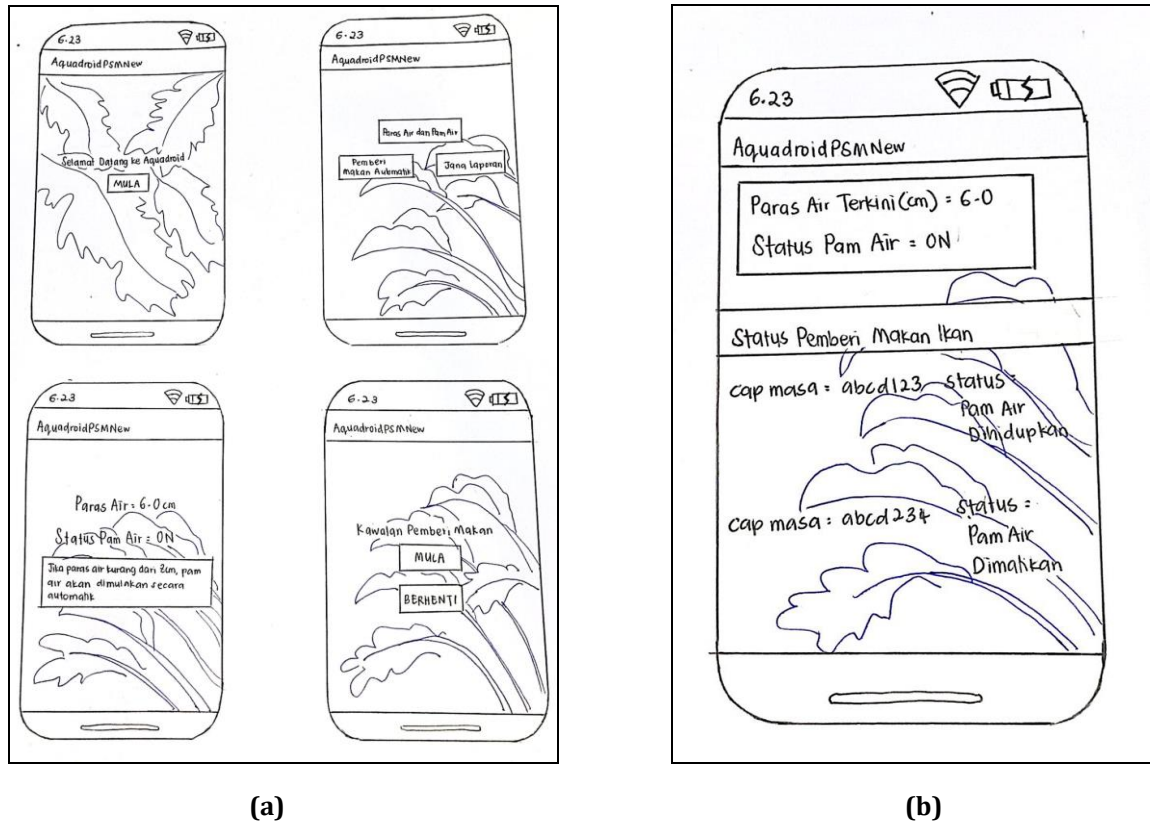
Prototaip ini terdiri daripada tangki ikan, takungan pam air dan komponen elektronik. Komponen elektronik pula terdiri daripada penderia kadar paras air, penggerak pengepaman air, penggerak pemberi makanan automatik, mikropengawal ESP8266, bateri Li-Ion, relay serta paparan LCD. Dengan menintegrasikan komponen-komponen ini, sistem akuaponik pintar mampu berjalan dengan baik.



Rajah 9 : Prototaip Sebenar Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT)

Rajah 9 di atas menunjukkan prototaip sebenar Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) setelah semua komponen penting diintegrasikan antara satu sama lain.

#### 4.6 Rekabentuk Antara muka



Rajah 10(a) antara muka aplikasi Aquadroid; (b) antara muka aplikasi Aquadroid

Rajah 10(a) dan (b) di atas menunjukkan reka bentuk antara muka Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT). Reka bentuk tersebut menggunakan proses prototaip kertas.

### 5. Pelaksanaan dan Pengujian

Dalam melaksanakan Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pintar (IoT) ini, terdapat dua bahagian pelaksanaan yang berbeza iaitu aplikasi telefon pintar dan mini prototaip. Untuk Pembangunan aplikasi telefon pintar, bahasa pengaturcaraan yang digunakan ialah Kotlin dan Java manakala untuk pembangunan mini prototaip, bahasa pengaturcaraan yang digunakan ialah C++. Seterusnya, perisian yang digunakan untuk aplikasi telefon pintar ialah Android Studio Code dan Firebase Database. Kemudian, bagi pembangunan prototaip, perisian yang digunakan ialah Arduino IDE.

#### 5.1 Implementasi Aplikasi

Dalam membangunkan aplikasi untuk Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) iaitu Aquadroid, tiga perisian digunakan iaitu Android Studio Code, Arduino IDE dan Firebase.

##### 5.1.1 Halaman Utama

Pada halaman utama, pengguna aplikasi Aquadroid akan dilihat dengan tulisan "Selamat Datang ke Aquadroid" dan butang "Mula". Butang tersebut berfungsi untuk membawa pengguna ke halaman yang seterusnya apabila butang tersebut ditekan.

```

class MainActivity : AppCompatActivity() {
    private lateinit var binding: ActivityMainBinding
    private lateinit var database: DatabaseReference

    override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
        super.onCreate(savedInstanceState)
        binding = ActivityMainBinding.inflate(layoutInflater)
        setContentView(binding.root)

        // Initialize Firebase Database
        database = FirebaseDatabase.getInstance().reference

        // Set up button click listener
        binding.getStartedButton.setOnClickListener {
            // Navigate to next activity or perform an action
            val intent = Intent(this, dashboard::class.java)
            startActivity(intent)
        }
    }
}
    
```

(a)



(b)

**Rajah 11** (a) kod program Android Studio Code dan antara muka halaman utama; (b) kod program Android Studio Code dan antara muka halaman utama

Rajah di atas menunjukkan kod program yang digunakan untuk membangunkan antara muka halaman utama bagi aplikasi Aquadroid. Kod tersebut telah diaturcarakan menggunakan perisian Android Studio Code.

### 5.1.2 Halaman Papan Pemuka

Pada halaman tersebut, terdapat tiga butang iaitu butang “Paras Air dan Pam Air”, “Pemberi Makan Automatik” dan “Jana Laporan”. Setiap butang tersebut mempunyai fungsi yang tersendiri. Butang ini amat penting bagi memastikan aplikasi Aquadroid ini berjalan dengan betul.

```

class dashboard : AppCompatActivity() {
    private lateinit var binding: ActivityDashboardBinding

    override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
        super.onCreate(savedInstanceState)
        binding = ActivityDashboardBinding.inflate(layoutInflater)
        setContentView(binding.root)

        // Set up button click listeners
        binding.waterLevelButton.setOnClickListener {
            val intent = Intent(this, WaterLevelActivity::class.java)
            startActivity(intent)
        }
        binding.automaticFeederButton.setOnClickListener {
            val intent = Intent(this, AutomaticFeederActivity::class.java)
            startActivity(intent)
        }
        binding.generateReportButton.setOnClickListener {
            val intent = Intent(this, GenerateReportActivity::class.java)
            startActivity(intent)
        }
    }
}
    
```

(a)



(b)

**Rajah 12** (a) kod program Android Studio Code dan antara muka halaman papan pemuka; (b) kod program Android Studio Code dan antara muka halaman papan pemuka

Rajah di atas menunjukkan kod program yang digunakan untuk membangunkan antara muka halaman papan pemuka bagi aplikasi Aquadroid. Kod tersebut telah diaturcarakan menggunakan perisian Android Studio Code.

### 5.1.3 Halaman Paras Air dan Pam Air

Pada halaman ini, pengguna dapat melihat kadar bacaan paras air semasa tangki ikan serta status pengepaman air. Kod program, pangkalan data serta antara muka halaman ini ditunjukkan di dalam rajah bawah.

```

database = FirebaseDatabase.getInstance().reference
firestore = FirebaseFirestore.getInstance()
fetchWaterLevelData()
}
private fun fetchWaterLevelData() {
    val waterLevelRef = database.child("Water Level (cm)")
    waterLevelRef.addValueEventListener(object : ValueEventListener {
        override fun onDataChange(snapshot: DataSnapshot) {
            val waterLevel = snapshot.getValue(Double::class.java)?: 0.0
            binding.waterLevelTextView.text = "Paras Air: $waterLevel cm"
            handleWaterLevelChange(waterLevel)
        }
    })
}

```

(a)

```

private fun showLowWaterLevelNotification() {
    val builder = AlertDialog.Builder(this)
    builder.setTitle("Amaran Kadar Paras Air")
    builder.setMessage("Kadar paras air rendah. Pengepaman air akan simulakan")
    builder.setPositiveButton("OK") { dialog, _ ->
        dialog.dismiss()
    }
    builder.create().show()
}

```

(b)

**Rajah 13(a)** kod program Android Studio Code untuk halaman paras air dan pam air; **(b)** kod program Android Studio Code untuk halaman paras air dan pam air

Rajah di atas menunjukkan kod program yang digunakan untuk membangunkan antara muka halaman paras air dan pam air bagi aplikasi Aquadroid. Kod tersebut telah diaturcarakan menggunakan perisian Android Studio Code.

```

void loop() {
    delay(50);
    int distance = sonar.ping_cm();
    int waterLevel = tankHeight - distance; // Calculate the water level

    Serial.print("Ping: ");
    Serial.print(distance);
    Serial.println("cm");
    Serial.print("Water Level: ");
    Serial.print(waterLevel);
    Serial.println("cm");

    if (waterLevel != lastWaterLevel) {
        // Update the water level display only if it has changed
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Water Level(cm):  ");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(waterLevel);
        lcd.print(" ");
    }
}

```

(c)

```

128   firebase.setInt("Water Level(cm)", waterLevel);
129
130   Serial.print("Water Pump: ");
131   Serial.println(digitalRead(relay) == LOW ? "ON" : "OFF");
132

```

(d)

**Rajah 13(c)** kod program Arduino IDE untuk halaman paras air dan pam air; **(d)** kod program Arduino IDE untuk halaman paras air dan pam air

Rajah 13(c) dan (d) di atas menunjukkan kod program yang digunakan untuk bacaan kadar paras air dapat dikesan serta status pengepaman air dapat dilihat bagi aplikasi Aquadroid. Kod tersebut telah diaturcarakan menggunakan perisian Arduino IDE.



(e)



(f)

Rajah 13(e) pangkalan data dan antara muka untuk halaman paras air dan pam air; (f) pangkalan data dan antara muka untuk halaman paras air dan pam air

Rajah 13(e) dan (f) di atas menunjukkan pangkalan data iaitu *Realtime Database Firebase* untuk menyimpan data kadar paras air dan status pengepaman air serta antara muka halaman paras air dan pam air. Perisian yang digunakan untuk membina halaman tersebut ialah *Android Studio Code*.

### 5.1.4 Halaman Pemberi Makan Automatik

Pada halaman ini, pengguna dapat melakukan proses pemberian makanan kepada ikan melalui aplikasi *Aquadroid*. Kod program, pangkalan data serta antara muka halaman ini ditunjukkan di dalam rajah bawah.

```

firestore = FirebaseFirestore.getInstance()
binding.startButton.setOnClickListener {
    // Record timestamp in Firestore
    recordTimestamp("Pemberi makanan dimulakan")
    // Show Toast message indicating feeder started
    showToast("Pemberi makanan dimulakan")
}
binding.stopButton.setOnClickListener {
    // Record timestamp in Firestore
    recordTimestamp("Pemberi makanan diberhentikan")
    // Show Toast message indicating feeder stopped
    showToast("Pemberi makanan diberhentikan")
}
    
```

(a)

```

door = firebase.getString("Feeder");
Serial.print("Feeder: ");
Serial.println(door);

if (door == "feed") {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Feeding...");
    delay(2000);
    myservo.write(180);
    delay(timeopen);
    myservo.write(0);
    firebase.setString("Feeder", "ready");
}
    
```

(b)

Rajah 14 (a) kod program untuk halaman pemberi makan automatik; (b) kod program untuk halaman pemberi makan automatik

Rajah 14(a) menunjukkan kod program yang menggunakan perisian *Android Studio Code*. Kod program ini digunakan untuk merekod cap masa proses pemberian makanan kepada ikan. Untuk Rajah 14(b)

menunjukkan kod program yang menggunakan perisian Arduino IDE. Kod ini digunakan untuk memastikan proses pemberian makanan berjalan apabila dikehendaki.



(c)

**Rajah 14 (c)** Antara muka Halaman Pemberi Makan Automatik

Rajah 14(c) di atas menunjukkan antara muka halaman pemberi makan automatik untuk aplikasi Aquadroid setelah diaturcara menggunakan perisian Android Studio Code.

### 5.1.5 Halaman Jana Laporan

Pada halaman ini, pengguna dapat melihat data mengenai sistem akuaponik melalui aplikasi Aquadroid. Kod program, pangkalan data serta antara muka halaman ini ditunjukkan di dalam rajah bawah.

```

realtimeDatabase = FirebaseDatabase.getInstance().reference

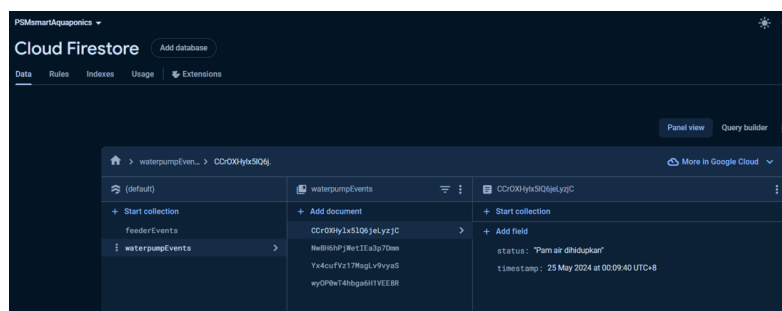
firestore = FirebaseFirestore.getInstance()

// Fetch and display current water level
fetchCurrentWaterLevel()

// Fetch and display feeder process data
fetchFeederData()

```

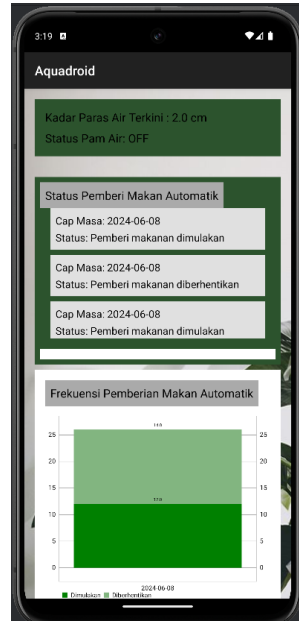
(a)



(b)

**Rajah 15 (a)** kod program dan pangkalan untuk halaman jana laporan;  
**(b)** kod program dan pangkalan untuk halaman jana laporan

Rajah 15(a) di atas menunjukkan kod program untuk mendapatkan data sistem akuaponik dari Firebase dan dipaparkan di dalam aplikasi Aquadroid manakala Rajah 15(b) menunjukkan pangkalan data mengenai data yang dipaparkan pada halaman jana laporan di dalam aplikasi Aquadroid



(c)

Rajah 15 (c) Antara muka Halaman Jana Laporan

Rajah 15(c) di atas menunjukkan antara muka halaman jana laporan untuk aplikasi Aquadroid setelah diaturcara menggunakan perisian Android Studio Code.

## 5.2 Pengujian Aplikasi dan Prototaip

Pengujian terhadap aplikasi Aquadroid dan prototaip dilakukan bagi memastikan setiap komponen dan modul berfungsi dengan betul, berintegrasi dengan baik serta memberi output yang sepatutnya kepada pengguna. Ringkasan ujian terhadap aplikasi Aquadroid dan prototaip dinyatakan dalam jadual di bawah.

Jadual 5 Ringkasan Ujian Terhadap Aplikasi Aquadroid

Halaman	Penerangan	Lulus/Gagal
Halaman Utama	Halaman utama memaparkan butang “Mula” yang boleh ditekan oleh pengguna untuk ke halaman seterusnya.	Lulus
Halaman Papan Pemuka	Halaman papan pemuka memaparkan tiga butang iaitu “Pam Air dan Paras Air”, “Pemberi Makan Automatik” dan “Jana Laporan”.	Lulus
Halaman Paras Air dan Pam Air	Halaman paras air dan pam air memaparkan data kadar paras air semasa dan status pengepaman air dengan betul serta notifikasi dipaparkan apabila kadar paras air rendah.	Lulus
Halaman Pemberi Makan Automatik	Halaman ini memaparkan dua butang iaitu “Mula” dan “Berhenti” yang membenarkan pengguna untuk memulakan atau memberhentikan proses pemberian makanan kepada ikan.	Lulus
Halaman Jana Laporan	Laporan mengenai kadar paras air semasa, status pengepaman air, cap masa serta status pemberian makanan ikan yang diperoleh dari Firebase dipaparkan pada halaman ini untuk pengguna.	Lulus

Jadual 5 di atas menunjukkan ringkasan ujian terhadap aplikasi Aquadroid setelah kaji selidik dilakukan terhadap aplikasi tersebut di mana pengguna sebenar mengguna aplikasi Aquadroid dan memberikan respon terhadap tahap kepuasan hati mereka terhadap aplikasi ini.

**Jadual 6** Ringkasan Ujian Terhadap Prototaip

Komponen	Penerangan	Lulus/Gagal
Penderia Paras Air	Bacaan kadar paras air dikesan dan direkodkan di dalam <i>Firestore</i> .	Lulus
Penggerak Pengepaman Air	Proses pengepaman air berjalan dengan lancar berdasarkan kawalan yang dilakukan oleh pengguna aplikasi Aquadroid.	Lulus
Penggerak Pemberian Makanan Automatik	Proses pemberian makanan kepada ikan berjalan dengan lancar berdasarkan kawalan yang dilakukan oleh pengguna aplikasi Aquadroid.	Lulus
Paparan LCD	Paparan LCD memaparkan kadar paras air semasa, status pengepaman air dan status pemberian makanan kepada ikan.	Lulus
Mikropengawal	Mikropengawal memastikan komponen berjalan dengan betul berdasarkan aturan yang telah ditetapkan di dalam Arduino IDE.	Lulus

Jadual 6 di atas menunjukkan ringkasan ujian terhadap aplikasi prototaip setelah kaji selidik dilakukan terhadap prototaip tersebut di mana pengguna sebenar menggunakan prototaip dan memberikan respon terhadap tahap kepuasan hati mereka terhadap prototaip ini.

## 6. Kesimpulan

Secara keseluruhannya, Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) telah berjaya dibangunkan sesuai dengan objektif dan skop projek, seperti yang telah dinyatakan. Bahasan kajian literatur membantu memperbaiki sistem ini berdasarkan analisis terhadap tiga sistem sedia ada. Seterusnya, dengan menggunakan metodologi Model Prototaip, ia sedikit sebanyak membantu dalam memastikan sistem ini memenuhi tujuan sebenar pembangunannya. Kemudian, penekanan terhadap analisis risiko dan reka bentuk sistem membantu untuk memastikan keberkesanan sistem akuaponik pintar ini. Ujian dan penyepaduan komponen telah dilakukan untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik. Kesimpulannya, Sistem Akuaponik Pintar Berasaskan Internet Pelbagai Benda (IoT) ini menawarkan pemantauan masa nyata, automasi, dan penyimpanan data yang efisien, meskipun ada cabaran seperti kos permulaan dan kebergantungan pada teknologi. Integrasi Internet Pelbagai Benda (IoT) dalam akuaponik menjanjikan peningkatan dalam pengurusan pertanian yang lebih efisien dan mampan.

## Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Fakulti Sains Komputer dan Teknologi Maklumat, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia atas sokongan dan dorongan sepanjang proses kajian ini dijalankan.

## Konflik Kepentingan

Pengarang mengisytiharkan bahawa tidak ada konflik kepentingan mengenai penerbitan kertas ini.

## Rujukan

- [1] Abu Bakar, Z., Muhammad Nor, M. Z., Kadiran, K. A., Misnan, M. F., & Noorezam, M. (2022). Smart Plant Monitoring System Using Aquaponics Production Technological with Arduino Development Environment (IDE) and SMS Alert: A Prototype. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijIM)*, 16(22), pp. 32–47. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i22.34581>
- [2] Thu Ya Kyaw, Andrew Keong Ng, Smart Aquaponics System for Urban Farming, *Energy Procedia*, Volume 143, 2017, Pages 342-347, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.694>.
- [3] M. P. Ntulo, P. A. Owolawi, T. Mapayi, V. Malele, G. Aiyetoro and J. S. Ojo, "IoT-Based Smart Aquaponics System Using Arduino Uno," 2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Mauritius, Mauritius, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICECCME52200.2021.9590982.

- [4] Akuaponik Malaysia. (2016). Pengenalan Sistem Akuaponik. Wwww.akuaponik.my.  
<https://www.akuaponik.my/pengenalan-sistem-akuaponik/>
- [5] Saranish, S. (2019). Issue 6 www.jetir.org (ISSN-2349-5162). JETIR1907M40 Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, 6. <https://www.jetir.org/papers/JETIR1907M40.pdf>
- [6] Azizan, A. Z., & Abdullah Zawawi, I. F. (2023). Hubungan Penggunaan Internet of Things (IoT) Dengan Prestasi Perusahaan Kecil dan Sederhana (PKS) Di Batu Pahat. Research in Management of Technology and Business, 4(2), 913–928. Retrieved from  
<https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rmtb/article/view/11402>
- [7] Cahyadi, J. (2021). Manajemen Perikanan Budidaya Air Payau dan Laut: Prinsip & Praktik. In Google Books. Syiah Kuala University Press.  
<https://books.google.com.my/books?hl=en&lr=&id=qtE3EAAAQBAI&oi=fnd&pg=PP1&dq=Sistem+akuaponik+tersedia+dalam+pelbagai+saiz>

## Lampiran A: