

TINGKAT KELANGSUNGAN HIDUP LARVA UDANG WINDU (*Penaeus monodon*) STADIA NAUPLI—PL2 BERBASIS PERUBAHAN KUALITAS AIR DENGAN MEMANFAATKAN *INTERNET OF THINGS*



ANDI RAIHAN MAHARDIKA RAMADHAN
L031 20 1050



PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

TINGKAT KELANGSUNGAN HIDUP LARVA UDANG WINDU (*Penaeus monodon*) STADIA NAUPLI—PL2 BERBASIS PERUBAHAN KUALITAS AIR DENGAN MEMANFAATKAN *INTERNET OF THINGS*

**ANDI RAIHAN MAHARDIKA RAMADHAN
L031 20 1050**



**PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TINGKAT KELANGSUNGAN HIDUP LARVA UDANG WINDU (*Penaeus monodon*) STADIA NAUPLI—PL2 BERBASIS PERUBAHAN KUALITAS AIR DENGAN MEMANFAATKAN *INTERNET OF THINGS*

**ANDI RAIHAN MAHARDIKA RAMADHAN
L031 20 1050**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Budidaya Perairan

Pada

**PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
DEPARTEMEN PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

TINGKAT KELANGSUNGAN HIDUP LARVA UDANG WINDU (*Penaeus monodon*) STADIA NAUPLI—PL2 BERBASIS PERUBAHAN KUALITAS AIR DENGAN MEMANFAATKAN *INTERNET OF THINGS*

ANDI RAIHAN MAHARDIKA RAMADHAN

L031 20 1050

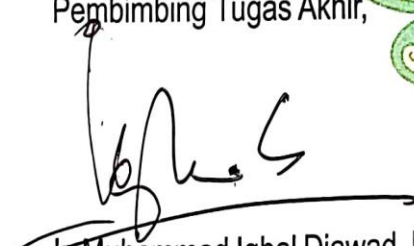
Skripsi,

Telah dipertahankan di depan panitia ujian sarjana pada tanggal 22 Mei 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pada

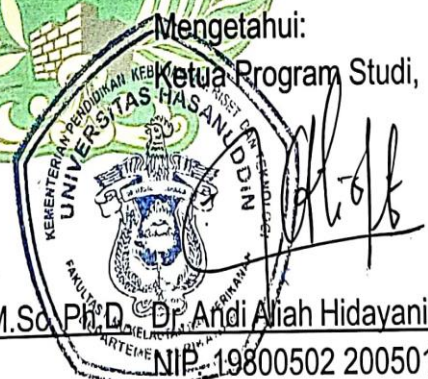
Program Studi Budidaya Perairan
Departemen Perikanan
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing Tugas Akhir,



Ir. Muhammad Iqbal Djawad, M.Sc, Ph.D. NIP. 19670318 198903 1 002

Mengetahui:
Ketua Program Studi,



Dr. Andi Aliah Hidayani, S.Si, M.Si.
NIP. 19800502 200501 2 002



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Tingkat Kelangsungan Hidup Larva Udang Windu (*Penaeus monodon*) Stadia Naupli—PL2 Berbasis Perubahan Kualitas Air Dengan Memanfaatkan *Internet of Things*" adalah benar karya saya dengan arahan dari bapak Ir. Muhammad Iqbal Djawad, M.Sc., Ph.D., sebagai pembimbing utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.



Makassar, 22 Mei 2024

Andi Raihan Mahardika Ramadhan
L031 20 1050

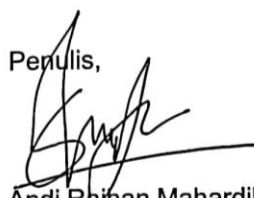
Ucapan Terima Kasih

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan skripsi ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi, dan arahan dari bapak Ir. Muhammad Iqbal Djawad, M.Sc., Ph.D., sebagai pembimbing utama sekaligus dosen pembimbing akademik. Ucapan berlimpah terima kasih kepada dosen pembimbing akademik saya yang telah memberikan begitu banyak bimbingan, ilmu, serta kesempatan selama menempuh pendidikan. Ucapan terima kasih kepada ibu Dr. Ir. Badraeni, M.P., dan bapak Ir. Abustang, M.P., selaku dosen penguji yang telah memberikan pengetahuan, masukan, kritik, dan saran yang membangun selama proses penyusunan skripsi. Ucapan Terima kasih kepada *associate professor* Masato ENDO., Ph.D., sensei yang telah menjadi *supervisor* dan memberikan pengetahuan dalam menempuh program *student exchange* di *Tokyo University of Marine Science and Technology*. Ucapan terima kasih kepada Prof. Safruddin, S.Pi., M.P., Ph.D., selaku dekan dan seluruh pimpinan, serta civitas akademika Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan memfasilitasi dalam menempuh program sarjana.

Ucapan terima kasih kepada bapak Nur Muflich Juniyanto, S.Pi., M.Si., selaku kepala BPBAP Takalar dan bapak Haruna, S.Pi., selaku kepala divisi *hatchery* pembenihan udang BPBAP Takalar yang telah memberikan izin melaksanakan penelitian dan menggunakan fasilitas di *hatchery* pembenihan udang BPBAP Takalar. Ucapan terima kasih kepada teman seperjuangan penelitian Asyhabul Qaffi yang membersamai selama penelitian berlangsung. Kepada teman seperjuangan semasa kuliah Saldy, Sulfikar, Akram, Amir, Fiqri, Zalsa, Salwa, Nasyatul, Meisya, Caca, Novi, Adinda, Siska, Tiara, Wilka, dan Wulan yang senantiasa memberikan bantuan, dukungan, dan semangat. Kepada teman seperjuangan Maulana, Ragil, Fauzi, Gibran, Anzar, Aidhin, Kholid, Fahri, Husein, Zulfa, Tasya, Yuniar, Dewi, dan Nade yang senantiasa memberikan motivasi. Ucapan terima kasih juga kepada teman-teman BDP 20 dan NAPOLEON 20 yang telah membersamai selama proses perkuliahan.

Akhirnya, kepada kedua orang tua saya tercinta ayahanda A. Rustan, S.E., dan ibunda Fitri Nirmayanti, ucapan limpahan terima kasih dan penghargaan yang tinggi atas doa, pengorbanan, dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan hingga saya sampai pada titik ini. Kepada kakak saya A. Afif Dhihulhaq Azhari, S.T yang senantiasa membantu selama proses menempuh pendidikan. Kepada adik saya A. Mashel Zahwa Mahira yang menjadi motivasi selama perkuliahan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada seluruh keluarga atas motivasi dan dukungan baik secara moril maupun materiil.

Penulis,



Andi Raihan Mahardika Ramadhan

ABSTRAK

ANDI RAIHAN MAHARDIKA RAMADHAN. **Tingkat Kelangsungan Hidup Larva Udang Windu (*Penaeus monodon*) Stadia Naupli—PL2 Berbasis Perubahan Kualitas Air Dengan Memanfaatkan *Internet of Things*** (dibimbing oleh Muhammad Iqbal Djawad)

Latar belakang. Udang windu (*Penaeus monodon*) merupakan *krustasea* laut yang dibudidayakan secara luas di Indo-Pasifik, khususnya di wilayah pesisir Indonesia. Faktor kualitas air sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup udang. Penggunaan sistem monitoring berbasis *internet of things* dalam mengukur kualitas air. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi *big data* yang valid dan reliabel berbasis perubahan kualitas air secara *real time* dengan memanfaatkan sistem monitoring *internet of things* untuk memaksimalkan tingkat kelangsungan hidup dalam kegiatan budi daya pembenihan larva udang windu. **Metode.** Penelitian ini dibagi lima tahap, yaitu 1) persiapan wadah; 2) penyetingan sensor monitoring kualitas air; 3) penebaran benih; 4) pemeliharaan larva; 5) monitoring kualitas air. Data perubahan kualitas air pemeliharaan larva udang windu dianalisis secara deksriptif dalam bentuk grafik. *Big data* kualitas air penelitian tersimpan di server dengan mengakses melalui website atau aplikasi yang disajikan dengan ui interaktif (grafik). **Hasil.** Penelitian ini menunjukkan tingkat kelangsungan hidup larva udang windu sebesar 35.84%. Monitoring kualitas air pada media pemeliharaan berada pada kisaran yang normal, yaitu suhu (30.81°C—32.5°C), DO (3—7 mg/L), pH (7.47—7.97). **Kesimpulan.** Penggunaan *internet of things* dalam monitoring perubahan kualitas air pemeliharaan larva udang windu secara efektif dapat memantau kualitas air meliputi suhu, pH, dan oksigen terlarut. Monitoring kualitas air secara *real time* telah berhasil dilakukan pada pemeliharaan larva udang windu untuk memaksimalkan pertumbuhan dan kelangsungan hidup. *Big data* selama penelitian diperoleh melalui aplikasi AQUANOTES yang terinstal melalui playstore.

Kata kunci: *big data*; *internet of things*; kelangsungan hidup; kualitas air; udang windu

ABSTRACT

ANDI RAIHAN MAHARDIKA RAMADHAN. **Survival Rate of Tiger Prawns Larvae (*Penaeus monodon*) Stadia Naupli—PL2 Based on Water Quality Changes Using The Internet of Things** (supervised by Muhammad Iqbal Djawad)

Background. Tiger prawns (*Penaeus monodon*) are marine crustaceans that are widely cultivated in the Indo-Pacific, especially in the coastal areas of Indonesia. Water quality factors greatly influence the growth and survival rate of shrimp. Using an internet of things-based monitoring system to measure water quality. **Aim.** This research aims to obtain valid and reliable big data information based on changes in water quality in real time by utilizing an internet of things monitoring system to maximize survival rates in tiger prawn larvae hatchery cultivation activities. **Method.** This research is divided into five stages, namely 1) preparation of the container; 2) setting up water quality monitoring sensors; 3) seed distribution; 4) larval rearing; 5) monitoring water quality. Data on changes in water quality rearing tiger prawn larvae were analyzed descriptively in graphical form. Big data research water quality is stored on the server by accessing via a website or application presented with an interactive UI (graph). **Results.** This research shows that the survival rate of tiger prawn larvae is 35.84%. Monitoring water quality in the maintenance media is within the normal range, namely temperature (30.81°C—32.5°C), dissolved oxygen (3—7 mg/L), and pH (7.47—7.97). **Conclusion.** The use of the internet of things in monitoring changes in water quality rearing tiger prawn larvae can effectively monitor water quality including temperature, pH and dissolved oxygen. Real time water quality monitoring has been successfully carried out in rearing tiger prawn larvae to maximize growth and survival. Big data during the research was obtained through the AQUANOTES application installed via Playstore.

Keywords: big data; internet of things; survival rate; tiger prawns; water quality

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
Ucapan Terima Kasih	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
<i>CURRICULUM VITAE</i>	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	2
1.3 Teori	3
BAB II. METODE PENELITIAN	14
2.1 Tempat dan Waktu	14
2.2 Bahan dan Alat.....	14
2.3 Pelaksanaan Penelitian	15
2.4 Pengamatan dan Pengukuran	18
2.5 Analisis Data	19
BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
3.1 Kualitas Air	20
3.2 <i>Survival Rate</i>	26
BAB IV. KESIMPULAN.....	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Umur dan panjang tubuh larva udang windu (<i>Penaeus monodon</i>).....	5
2. Bahan yang digunakan selama penelitian.....	14
3. Alat yang digunakan selama penelitian.....	14

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Udang windu (<i>Penaeus monodon</i>).....	3
2. Morfologi udang windu (<i>Penaeus monodon</i>).....	4
3. Perkembangan stadia naupli.....	5
4. Fase perkembangan stadia zoea.....	6
5. Fase perkembangan stadia mysis.....	7
6. Fase stadia <i>post larva</i>	8
7. Bak pemeliharaan.....	15
8. Mekanisme Kecerdasan Buatan.....	17
9. Nilai suhu air siklus 1.....	20
10. Nilai Suhu udara siklus 1.....	20
11. Nilai oksigen terlarut siklus 1.....	22
12. Nilai pH siklus 1.....	24
13. Survival rate larva udang windu.....	27

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Sintasan (SR)	37
2. Kualitas Air.....	38
3. Dokumentasi penelitian	39

CURRICULUM VITAE

A. Data Pribadi

1. Nama : Andi Raihan Mahardika Ramadhan
2. Tempat, Tanggal Lahir : Makassar, 27 November 2002
3. Alamat : Jalan Seruni No. 15, Kel. Kampung Buyang, Kec. Mariso, Makassar, Sulawesi Selatan.
4. Kewarganegaraan : Warga Negara Indonesia

B. Riwayat Pendidikan

1. Tamat TK Tahun 2008 di TK Putra I, Makassar
2. Tamat SD Tahun 2014 di SD Negeri Mangkura IV, Makassar
3. Tamat SMP Tahun 2017 di SMP Negeri 3, Makassar
4. Tamat SMA Tahun 2020 di SMA Negeri 8, Makassar

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udang windu (*Penaeus monodon*) merupakan *krustasea* laut yang dibudidayakan secara luas di Indo-Pasifik, khususnya di wilayah pesisir Indonesia. Selama dua dekade terakhir, pertumbuhan dramatis dalam industri budi daya laut telah mendorong Indonesia menjadi salah satu produsen udang terbesar di dunia (Abdul-Aziz *et al.*, 2015). Berbagai bentuk budi daya perikanan yang dilakukan di seluruh dunia, budi daya udang yang memainkan peran penting sebagai sumber pendapatan devisa bagi sejumlah negara berkembang (Simtoe *et al.*, 2024). Udang windu (*Penaeus monodon*) saat ini menjadi spesies *krustasea* kedua yang paling banyak dibudidayakan secara global (Deris *et al.*, 2020; Rahi *et al.*, 2022). Tingginya nilai ekonomi dan permintaan di pasar lokal maupun internasional membuat budi daya udang windu menjadi menonjol di seluruh wilayah pesisir Asia, Australia, dan banyak negara kepulauan Pasifik (Islam *et al.*, 2014; Rahi *et al.*, 2022). Produksi udang di Indonesia mengalami penurunan dalam kurung waktu 20 tahun terakhir sebesar 15% dari 98.356 MT pada tahun 1992 menjadi 83.193 pada tahun 1994. Demikian juga, ekspor udang periode 1994—1998 mengalami penurunan dari 63.666 MT menjadi 53.411 MT. Produksi udang belum mengalami pertumbuhan yang signifikan dan tetap berada pada tingkat yang cukup konstan dengan volume produksinya sebesar 380.917 MT pada tahun 2010 dan 918.550 MT pada tahun 2022. Berbagai permasalahan dan kendala terus merebak lebih cepat dalam kegiatan budi daya udang windu. Akibatnya, budi daya udang windu menjadi terpuruk dan tidak mudah untuk bangkit kembali (Suwoyo & Sahabuddin, 2017).

Keberhasilan pembenihan akan mendukung usaha penyediaan benih udang yang berkualitas. Kegiatan pembenihan udang windu, stadia larva merupakan fase yang paling kritis, karena biasanya terjadi tingkat mortalitas yang tinggi. Saat fase larva tingkat mortalitas yang tinggi disebabkan oleh organ-organ tubuh larva yang tumbuh tidak sempurna, sehingga sangat rentan terjadi kematian disebabkan karena kondisi lingkungan yang tidak optimal seperti kualitas air (Syukri & Ilham, 2016). Salah satu faktor penentu keberhasilan budi daya udang adalah pengelolaan kualitas air sebagai media pemeliharaan udang, baik pada kolam atau tambak (Rakhfid *et al.*, 2018). Kontrol kualitas air merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan keberhasilan budi daya karena berdasarkan studi menyebutkan bahwa sekitar 60—70% penyebab kultivan mati pada budi daya perikanan darat dikarenakan kontrol kualitas air yang buruk sehingga masalah kualitas air dalam dunia budi daya perikanan darat merupakan masalah yang harus diberi perhatian secara khusus (Yunior & Kusri, 2021). Pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup udang sangat dipengaruhi oleh kualitas air. Lingkungan perairan sebagai faktor penting dikarenakan air menjadi tempat hidup udang. Lingkungan perairan yang sesuai diperlukan oleh kultivan bagi kelangsungan hidupnya, karena berkaitan dengan pola dan kebiasaan hidup kultivan (Susiana *et al.*, 2014). Kualitas air semakin lama akan

semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu pemeliharaan. Semakin jelek kualitas air sebanding dengan lamanya waktu budi daya disebabkan karena terjadinya kenaikan input pemberian pakan dan penambahan bobot udang. Hal tersebut terjadi karena akumulasi senyawa beracun dari pakan yang tidak termakan, hasil metabolisme udang (feses), dan persaingan udang untuk mendapatkan oksigen (Evania *et al.*, 2018). Amonia dan nitrit terakumulasi menjadi senyawa beracun yang menyebabkan kematian pada udang. Senyawa beracun tersebut menyebabkan kandungan oksigen terlarut dalam kolam semakin berkurang dan menyebabkan kualitas air akan menurun (Djunaedi *et al.*, 2016).

Berkembangnya teknologi masa kini muncul inovasi teknologi yang disebut *internet of things* (IoT) yang mengacu pada penggunaan sensor, aktuator, dan teknologi komunikasi yang ditanamkan ke objek fisik sehingga memungkinkan objek tersebut dilacak dan dikendalikan melalui jaringan seperti internet (Rohadi *et al.*, 2018). *Internet of things* (IoT) merupakan sebuah konsep yang bertujuan memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus (Efendi, 2018). *Internet of things* atau lebih sering disebut IoT merupakan perangkat yang mampu melakukan transfer data dengan tidak memerlukan manusia sebagai perantaranya, melainkan menggunakan internet sebagai perantara. Secara sederhana, manusia tidak perlu mengontrol benda atau perangkat secara langsung melainkan manusia bisa melakukan kontrol dari jarak jauh dengan menggunakan IoT. *Internet of things* (IoT) merupakan terobosan teknologi dengan memanfaatkan perkembangan teknologi dan internet. Sistem monitor kualitas air pada budi daya perikanan berbasis platform *internet of things* (IoT) dan management data sistem. Teknologi dengan sistem ini mampu memantau dan memonitoring beberapa parameter kualitas air antara lain pH, dissolved oxygen (DO), suhu, dan beberapa parameter kualitas air lainnya berbasis *smartphone* (Yunior & Kusri, 2021).

Penggunaan sistem monitoring berbasis IoT dalam mengukur kualitas air memiliki tujuan penting dalam kegiatan pembenihan udang windu (*Penaeus monodon*) agar dapat meminimalisir kematian terhadap larva udang dan menjaga kondisi pemeliharaan yang optimal. Sistem monitoring dengan memanfaatkan teknologi berbasis IoT dalam mengukur kualitas air dapat secara akurat dan terus-menerus memonitoring. Parameter kualitas air seperti suhu, pH, oksigen terlarut (DO), dan parameter kualitas air lainnya. Hal ini memastikan bahwa data yang dikumpulkan untuk mempelajari respons kultivan terhadap perubahan kualitas air dapat diperoleh dengan akurat dan konsisten, sehingga memberikan hasil identifikasi yang lebih valid dan reliabel secara real time. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui tingkat kelangsungan hidup larva udang windu (*Penaeus monodon*) stadia naupli—*post larva* dua (PL2) berbasis perubahan kualitas air dengan memanfaatkan *internet of things* (IoT).

1.2 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi *big data* yang valid dan reliabel berbasis perubahan kualitas air secara *real time* dengan memanfaatkan sistem monitoring *internet of things* (IoT) untuk memaksimalkan tingkat

kelangsungan hidup dalam kegiatan budi daya pembenihan larva udang windu (*Penaeus monodon*).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam kegiatan budi daya pembenihan udang windu (*Penaeus monodon*) dalam meningkatkan tingkat kelangsungan hidup dengan mendapatkan informasi *big data* berbasis perubahan kualitas air secara *real time* dengan memanfaatkan *internet of things* (IoT) untuk memonitoring kualitas air secara tepat dan akurat, serta mengurangi risiko kematian pada larva udang windu.

1.3 Teori

1.3.1 Udang Windu (*Penaeus monodon*)

Klasifikasi udang windu menurut (WoRMS, 2024) sebagai berikut.

Filum	: Arthropoda
Sub Filum	: Mandibulata
Kelas	: Crustacea
Sub Kelas	: Malacostraca
Ordo	: Decapoda
Sub Ordo	: Matantia
Famili	: Penaeidae
Genus	: <i>Penaeus</i>
Spesies	: <i>Penaeus monodon</i>

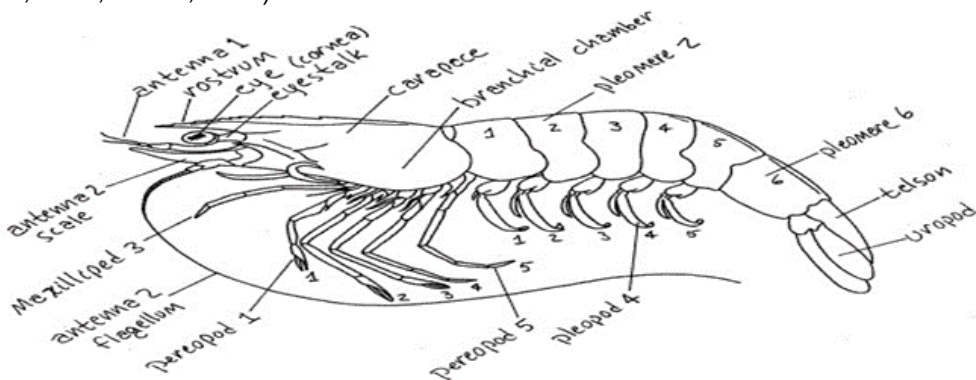


Gambar 1. Udang windu (*Penaeus monodon*)

Secara morfologis tubuh udang windu terdiri dari 2 bagian utama, yaitu kepala dada (*cephalothorax*) dan perut (*abdomen*). Bagian *cephalotorax* tertutup oleh kepala yang disebut *carapace*. Bagian depan *carapace* memiliki bentuk memanjang, meruncing, dan bergigi-gigi disebut cucuk kepala atau *rostrum*. Gigi

rostrum bagian atas umumnya terdiri dari 7 buah dan bagian bawah 3 buah. *Cephalotorax* terdiri dari 13 ruas (kepala: 5 ruas, dada: 8 ruas), dan *abdomen* 6 ruas, terdapat ekor dibagian belakang (Trianjari *et al.*, 2022). Bagian *cephalotorax* memiliki anggota tubuh berturut-turut, yaitu *antennula* (sungut kecil), *scophocerit* (sirip kepala), *antenna* (sungut besar), *mandibula* (rahang), 2 pasang *maxilla* (alat-alat pembantu rahang), 3 pasang *maxilliped*, dan 3 pasang *periopoda* (kaki jalan) yang ujung-ujungnya bercapit disebut *chela*. Insang terdapat di bagian sisi kiri dan kanan kepala, tertutup oleh *carapace* (Harahap *et al.*, 2017).

Bagian *abdomen* terdapat 5 pasang *pleopoda* (kaki renang), yaitu pada ruas ke 1 sampai 5. Ruas keenam *pleopoda* mengalami perubahan bentuk menjadi ekor kipas atau *uropoda*. Ujung ruas keenam bagian belakang terdapat *telson*. Tubuh udang windu terbagi oleh 2 cabang (*biramous*), yaitu *exopodite* dan *endopodite*. Ujung windu mempunyai tubuh berbuku-buku dan aktifitas berganti kulit luar atau *eksoskeleton* secara periodik yang biasa disebut dengan istilah *moulting* (Harahap *et al.*, 2017; Pandit, 2022).



Gambar 2. Morfologi udang windu (*Penaeus monodon*) (Muzahar, 2022)

Udang *penaeid* dapat dibedakan dengan yang lainnya oleh bentuk dan jumlah gigi pada *rostrum*. Udang windu mempunyai 2—4 gigi pada bagian tepi ventral *rostrum* dan 6—8 gigi pada tepi *dorsal*. Alat reproduksi pada udang windu betina disebut *thelicum*. Letak *thelicum* berada diantara pangkal *periopoda* ke 4 dan 5 dengan lubang saluran kelaminnya terletak diantara pangkal *periopoda* ketiga. Alat reproduksi udang windu jantan disebut *petasma* yang terletak pada *pleopoda* pertama. Sebagai anggota dari golongan *crustacea*, semua badan udang tertutup oleh kulit keras yang mengandung zat kitin kecuali sambungan antar ruas, yang memungkinkan udang bergerak lebih fleksibel (Agung *et al.*, 2022).

1.3.2 Siklus Hidup

Siklus hidup udang windu (*Penaeus monodon*, Fabricius) dimulai saat telur yang telah dibuahi akan menetas dalam waktu 12—15 jam dan berkembang menjadi larva. Setelah telur menetas larva udang masih memiliki cadangan makanan didalam tubuh berupa kuning telur. Stadia *zoea* terdiri dari tiga sub stadia yang berlangsung selama enam hari dan mengalami alih bentuk tiga kali. Stadia *mysis* memiliki ciri-ciri

bentuk larva yang mulai menyerupai udang dewasa. Bagian *pleopod* dan *telson* mulai berkembang dan larva bergerak membalik ekor secara mundur. Selanjutnya stadia *mysis* mengalami alih bentuk menjadi *post larva*. Selama lima hari pertama stadia *post larva* udang bersifat planktonis, dan pada *post larva* enam udang mulai merayap di dasar. Siklus hidup udang windu budi daya dimulai dari telur menetas menghasilkan *nauplius* sampai menjadi udang dewasa (*adult*). Rentang waktunya sekitar 155—189 hari atau 5.2—6.3 bulan (Pane, 2022).

Umur dan Panjang tubuh larva udang windu menurut Kungvankij *et al.*, (1985) sebagai berikut.

Tabel 1. Umur dan panjang tubuh larva udang windu (*Penaeus monodon*) (Kungvankij *et al.*, 1985)

Tahapan Udang	Rata-rata Panjang Tubuh (mm)	Hari Setelah Menetas (Umur)
<i>Nauplius</i> 1	0.32	15 jam
<i>Nauplius</i> 2	0.35	20 jam
<i>Nauplius</i> 3	0.39	1 hari 2 jam
<i>Nauplius</i> 4	0.40	1 hari 8 jam
<i>Nauplius</i> 5	0.41	1 hari 14 jam
<i>Nauplius</i> 6	0.54	1 hari 20 jam
<i>Zoea</i> 1	1.05	2 hari 16 jam
<i>Zoea</i> 2	1.9	4 hari 4 jam
<i>Zoea</i> 3	3.2	6 hari
<i>Mysis</i> 1	3.8	7 hari 4 jam
<i>Mysis</i> 2	4.3	8 hari 16 jam
<i>Mysis</i> 3	4.5	9 hari 4 jam
<i>Post larvae</i> 1	5.2	10 hari 20 jam
<i>Post larvae</i> 5	8	16 hari
<i>Post larvae</i> 15	12	26 hari
<i>Post larvae</i> 20	18	30 hari

Sumber: (Kungvankij *et al.*, 1985)

Siklus hidup udang windu menurut Pane (2022) sebagai berikut.

1. *Nauplius*

Nauplius merupakan stadia awal setelah telur menetas, terdiri atas enam substadia (N1—N6). Fase *nauplius* mengalami pergantian kulit (*moulting*) sebanyak enam kali. Lama pemeliharaan *nauplius* saat menetas sekitar 24—48 jam atau 1—2 hari. Setelah itu, *nauplius* memasuki stadia *zoea* (Z).



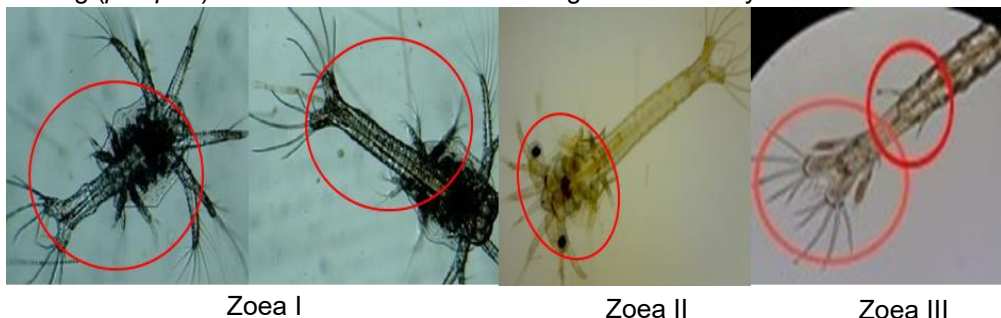
Gambar 3. Perkembangan stadia naupli (Kurniaji *et al.*, 2023)

Karakteristik perkembangan benur udang pada stadia nauplii menurut Kurniaji *et al.*, (2023) sebagai berikut:

- Naupli I: Bentuk badan bulat dan mempunyai anggota badan tiga pasang.
- Naupli II: Pada ujung antena pertama terdapat *setae* (rambut) yang satu panjang dan dua buah yang pendek.
- Naupli III: Dua buah *furcel* mulai tampak jelas dengan masing-masing tiga duri (*spine*), tunas *maxillaped* mulai tampak.
- Naupli IV: Masing-masing *furcel* terdapat empat buah duri, *exopoda* pada antena kedua beruas-ruas
- Naupli V: Struktur tonjolan tubuh pada pangkal *maxilla* dan organ pada bagian depan sudah mulai tampak jelas.
- Naupli VI: Perkembangan bulu-bulu makin sempurna dan duri pada *furcel* tumbuh makin Panjang

2. Zoea

Zoea (Z) merupakan stadia lanjutan setelah *nauplius*. Stadia *zoea* terdiri atas tiga substadia (Z1—Z3). Stadia *zoea* mengalami pergantian kulit (*moulting*) sebanyak tiga kali. Setelah 3—5 hari pada stadia *zoea*, larva udang windu akan memasuki stadia *mysis*. Setelah menetas sekitar 40 jam larva sudah masuk pada fase *zoea*. Saat stadia *zoea* larva sudah berukuran 1.06—3.30 mm. Menurut Pane (2022) menyatakan bahwa periode *zoea* mempunyai tiga kali perubahan bentuk. Periode ini sepasang mata mulai terbentuk, seperti tangkai mata yang mulai terpisah dengan *carapace*, *rostrum*, dan *spina supraorbitalis* mulai berkembang. Tunas kaki renang (*pleopod*) mulai muncul bersamaan dengan terbentuknya *telson*.



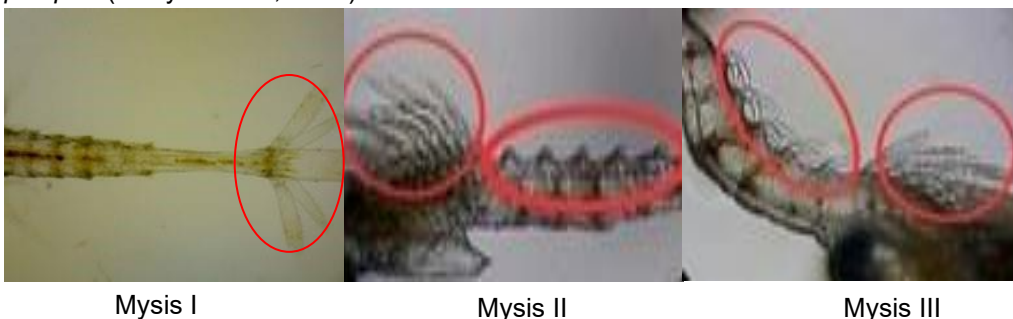
Gambar 4. Fase perkembangan stadia zoea (Fikriyah *et al.*, 2023)

Karakteristik perkembangan benur udang pada stadia *zoea* menurut Fikriyah *et al.*, (2023) sebagai berikut.

- Zoea* I: Badan pipih, mata, dan *carapace* mulai tampak. *Maxilla* pertama dan kedua serta *maxiliped* mulai berfungsi, alat pencernaan makanan tampak jelas.
- Zoea* II: Mata mulai bertangkai dan pada *carapace* sudah terlihat *rostrum* dan duri *supraorbital* yang bercabang.
- Zoea* III: Sepasang *uropoda* yang bercabang dua dan duri mulai berkembang.

3. Mysis

Stadia *mysis* (M) larva sudah menyerupai udang dewasa. *pleopod* (kaki renang) dan *telson* (ekor) mulai berkembang dan larva bergerak mundur. Stadia *mysis* ini terdiri atas tiga substadia (M1—M3). Stadia *mysis* mengalami pergantian kulit (*moulting*) sebanyak tiga kali. Setelah 4—5 hari pada stadia *mysis*, maka larva tersebut memasuki stadia *post larva* (PL). Secara morfologis larva udang sudah menyerupai bentuk udang dewasa yang sudah memiliki ekor kipas (*uropod*) dan ekor (*telson*). Larva udang pada stadia *mysis* sudah mampu menyantap pakan alami zooplankton. Periode *mysis*, mempunyai tiga kali perubahan bentuk. Pada periode ini, *antenna* mulai meninggalkan fungsinya untuk alat berenang dan diganti oleh *pleopod* (Fikriyah *et al.*, 2023).



Gambar 5. Fase perkembangan stadia *mysis* (Fikriyah *et al.*, 2023)

Ukuran benur pada stadia ini sudah berukuran 3.50—4.80 mm. Perubahan morfologi pada stadia ini terdiri dari tiga tahap yaitu *mysis 1*, *mysis 2*, dan *mysis 3*, waktu pada fase ini adalah 3—4 hari sebelum masuk pada stadia *post larva* (PL). Karakteristik perkembangan benur udang pada stadia *mysis* menurut Fikriyah *et al.*, (2023) sebagai berikut.

- Mysis I*: Uropoda terbentuk sempurna, bentuk badan ramping dan memanjang, seperti udang muda, tetapi kaki renang masih belum tampak.
- Mysis II*: Tunas kaki renang mulai tampak nyata tetapi belum beruas-ruas
- Mysis III*: Tunas kaki renang bertambah panjang dan beruas-ruas.

4. Post Larva

Perkembangan *post larva* (PL) sesuai dengan pertambahan umur (hari) dan morfologinya, seperti udang dewasa. Pada stadia ini udang sudah tampak perubahan bentuk, seperti udang dewasa dan organ tubuh sudah berfungsi dengan baik. Anggota gerak pada udang seperti *antenna*, *antenula*, *maxiliped*, *chela*, *pleopod*, dan *telson* serta *uropod* telah berkembang dengan sempurna. Hitungan stadia yang digunakan sudah berdasarkan hari. Misalnya PL1 berarti udang tersebut sudah berumur 1 hari dan begitu seterusnya. Pada stadia ini udang sudah mulai aktif bergerak lurus ke depan, umumnya petambak akan menebar pada PL10—PL15 yang sudah berukuran rata-rata 10 mm (Fikriyah *et al.*, 2023).

Jika dihitung dari telur menetas menghasilkan *nauplius*, umur benur tersebut sekitar 18—32 hari dengan panjang sekitar 10.7—16.0 mm dan bobot 4.8—20.3 mg. Umumnya, petambak udang menyebarkan benur ukuran benih sebar PL12 untuk dibesarkan menjadi udang remaja atau yuwana (*juvenile*) sampai udang dewasa (*adult*). Tetapi ada juga petambak yang menyebarkan benih sebar ukuran tokolan, yaitu benih udang (PL21—PL40). Benih ini lebih mampu beradaptasi terhadap lingkungan budi daya. Tokolan ini berumur 29—52 hari sejak telur menetas menjadi *nauplius*. Biasanya panjang tokolan sekitar 16.53—34.00 mm dengan bobot 21.77—270.00 mg. Umumnya, pembesaran benur menjadi tokolan ini di *nursery* (pendederan). Lama pemeliharaan benur (PL10—PL20) sampai menjadi tokolan (PL21—PL40) sekitar 11—20 hari (Pane, 2022).



Gambar 6. Fase stadia post larva (Fikriyah *et al.*, 2023)

5. *Juvenile* (yuwana)

Stadia *juvenile* ditandai awal oleh warna tubuh yang transparan dengan pita cokelat gelap dibagian sentral. Saat tahap *juvenile* ditandai dengan fluktuasi perbandingan ukuran tubuh mulai stabil. Umumnya, benur PL12 yang ditebar benur pada pembesaran diperlukan waktu sekitar 30—45 hari untuk sampai berukuran yuwana (*juvenile*), tetapi jika yang ditebar tokolan diperlukan waktu sekitar 20—25 hari untuk sampai berukuran yuwana (Pane, 2022).

6. Udang Dewasa

Setelah berukuran yuwana, periode pembesaran dilanjutkan sampai panen ukuran (*size*) 40, yaitu 40 ekor/kg atau 25 gram/ekor. Lama waktu pembesaran dari ukuran yuwana sampai ukuran konsumsi tersebut sekitar 105—120 hari. Benih udang yang tebar awalnya umur PL12 di tambak, maka akan memerlukan waktu pembesaran kurang lebih sekitar 5—6 bulan sampai panen ukuran (*size*) 40. Pembesaran udang windu budidaya dilakukan di tambak ekstensif (tradisional), semi intensif, atau intensif (Pane, 2022).

1.3.3 Tingkah Laku

Umumnya udang bersembunyi di siang hari untuk menghindari predator, banyak diantaranya hidup dalam lubang di pasir, di terumbu karang yang hidup maupun mati, atau di bawah batu-batu. Udang hidup secara berkelompok serta bersifat *nocturnal* (mencari makan pada malam hari) dan pada siang hari mereka bersembunyi di

tempat-tempat yang gelap dan terlindung di dalam lubang-lubang batu karang (Williams & Bunkley-Williams, 2019). Udang windu menyukai hidup di dasar perairan, tidak menyukai cahaya terang dan bersembunyi di lumpur pada siang hari, bersifat kanibal terutama dalam keadaan lapar dan tidak ada makanan yang tersedia, mempunyai ekskresi amonia yang cukup tinggi, dan untuk pertumbuhan diperlukan pergantian kulit (*moulting*) (Riyanto *et al.*, 2015).

Pertumbuhan udang windu (*Penaeus monodon*) ditunjukkan adanya proses pergantian kulit (*moulting*). Kondisi udang pada saat ganti kulit (*moulting*) sangat lemah sehingga akan sangat mudah diserang atau dimakan oleh udang lainnya. Hal ini disebabkan udang memiliki sifat kanibalisme. Umumnya, udang dan semua bangsa krustasea bersifat kanibal, yaitu memangsa sesama jenis yang lebih lemah kondisinya, misalnya udang yang mengalami proses ganti kulit sering kali dimakan oleh udang lain (Nurhasanah *et al.*, 2021). Pertumbuhan udang yang sangat cepat dan menyerap air lebih banyak sampai kulit luar mengeras saat proses pergantian kulit. *Moulting* merupakan indikator dari pertumbuhan udang, semakin cepat udang berganti kulit berarti pertumbuhan semakin cepat pula. Udang berganti kulit secara periodik, pada proses ganti kulit tersebut badan udang berkesempatan untuk bertumbuh besar secara nyata. Udang muda lebih sering ganti kulit daripada udang tua (Pane, 2022).

Semua udang memiliki sifat alami yang sama, yaitu aktif dalam kondisi gelap (*nocturnal*) baik aktifitas untuk mencari makan dan reproduksi. Udang ketika mencari makanan mengandalkan indera yang digunakan dalam mendeteksi makanan adalah *chemosens*, penglihatan (*sight*), *audiosense*, dan *thermosense*. Keempat indera tersebut *chemosense* atau *chemoreseptor* merupakan alat yang paling peka untuk mendeteksi pakan (Siswati, 2021). Alat *chemoreseptor* pada *crustacea* bersifat sensitif dalam memberikan respon untuk bahan-bahan kimia terhadap temperatur dan pH. Udang lebih mengandalkan indera perasa, seperti *antenna flagella*, rongga mulut, kaki jalan, *carapace* daripada indera penglihatan dalam mencari pakan. Makanan dari udang ini sangat bervariasi, yaitu dari jenis *crustacea* rendah, moluska, ikan-ikan kecil, cacing, larva serangga, dan sisa-sisa bahan organik (Jumadi, 2019; Sari *et al.*, 2023).

Udang windu (*Penaeus monodon*) memiliki daya tahan terhadap salinitas dan suhu. Udang saat waktu masih benih bersifat *euryhaline* yang sangat mentolerir terhadap fluktuasi kadar garam. Oleh sebab itu, udang windu dapat dipelihara di tambak dengan kadar garam bervariasi mulai dari kisaran salinitas 3—5‰ pada tambak yang jauh dari laut, hingga tambak yang dekat dengan laut yang salinitas berkisar 20—30‰ (Pane, 2022). Suhu optimal untuk budidaya udang di tambak berkisar antara 26—30°C. Perubahan suhu secara mendadak (ekstrim) sebesar $\pm 2^\circ\text{C}$ atau lebih walaupun kondisi suhu air berada pada kisaran normal bagi udang dapat menyebabkan stress dan berakibat fatal (Suwarsih *et al.*, 2016). Menurut Jumadi (2019) menyatakan bahwa udang windu juga bersifat *eurythermal*, yaitu hewan yang dapat mentolelir perubahan suhu yang luas. Perubahan suhu yang besar dimedia kultur, terutama di tambak pada musim kemarau, yaitu pada siang hari suhu mencapai 32°C dan pada malam hari suhu menurun menjadi 22°C masih dapat

ditolelir oleh udang, walaupun pada kondisi demikian, udang sensitif terhadap serangan penyakit.

1.3.4 Makan dan Kebiasaan Makan

Jenis makanan alami yang diperlukan udang disesuaikan dengan umur dan perkembangan udang. Saat udang masih kecil maka jenis makanan alami yang diberikan adalah fitoplankton atau hewan-hewan halus. Berbeda ketika udang sudah masuk umur 25 hari ke atas memerlukan makanan alami yang sesuai dengan bukaan mulut, seperti *phronima* sp., dan cacing sutera. Kualitas pakan menjadi salah satu faktor yang terpenting dalam pertumbuhan udang windu (*Penaeus monodon* Fabr.). Pakan berkualitas baik yang memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dan sesuai dengan kebutuhan udang. Pakan yang dikonsumsi udang tidak semua dapat dicerna, namun ada yang dikeluarkan dalam bentuk feses dan sisa metabolik, seperti urin dan amonia (Usman & Rochmady, 2017).

Udang windu bersifat omnivor, biasanya memakan detritus dan sisa-sisa organik baik hewani maupun nabati. Udang tidak bersifat memilih makanan dan dapat menyesuaikan diri dengan makanan yang tersedia pada lingkungannya. Udang windu aktif mencari makan pada malam hari atau disebut *nocturnal*. Jenis kebutuhan makanannya sangat bervariasi tergantung pada tingkatan umur. Saat larva makanan utamanya adalah plankton (fitoplankton dan zooplankton). Ketika udang windu dewasa menyukai detritus, krustasea, moluska, annelida, rotifera, serangga, dan plankton. Dalam usaha budi daya, udang windu mendapatkan makanan alami yang tumbuh di tambak, yaitu klekap, lumut, dan plankton. Udang windu akan bersifat kanibal bila kekurangan makanan (Sentosa *et al.*, 2018).

Pakan udang windu (*Penaeus monodon*) terdiri dari dua jenis, yaitu pakan alami berupa fitoplankton, siput-siput kecil, cacing kecil, anak serangga, dan *detritus* (sisa hewan dan tumbuhan yang membusuk), dan pakan buatan berupa pelet. Pakan buatan yang digunakan harus mengandung kadar protein yang cukup dan bermutu bagi pertumbuhan udang windu. Selain itu, pakan harus mengandung cukup vitamin dan mineral guna menambah daya tahan tubuh dan menghindari penyakit malnutrisi. Pakan yang baik dan efektif adalah pakan yang mengandung nilai nutrisi yang terdiri dari kandungan protein, lemak, karbohidrat, vitamin, mineral, kadar air, dan energi (Awaluddin *et al.*, 2020). Pakan merupakan sarana produksi yang nilainya mencapai 50—70% dari biaya produksi, sehingga pakan yang digunakan harus diperhitungkan mutunya (angka konversi serendah mungkin) dan pemberiannya seefisien mungkin (Andriani *et al.*, 2022).

1.3.5 Kelangsungan Hidup

Kelangsungan hidup atau *survival rate* (SR) adalah perbandingan antara jumlah individu yang hidup pada akhir periode pemeliharaan dan jumlah individu yang hidup pada awal periode pemeliharaan dalam populasi yang sama. Kelangsungan hidup berkaitan dengan mortalitas. Kematian suatu populasi organisme yang mengakibatkan berkurangnya jumlah suatu organisme dalam populasi disebut mortalitas. Banyaknya mortalitas pada pemeliharaan organisme

akuatik mengakibatkan tingkat kelangsungan hidup suatu organisme juga rendah (Francisca & Muhsoni, 2021). Faktor-faktor yang mempengaruhi tingginya presentase kelangsungan hidup adalah faktor biotik dan abiotik, seperti kompetitor, kepadatan populasi, penyakit, umur, kemampuan organisme dalam beradaptasi, dan penanganan manusia. Tingkat kelangsungan hidup juga dipengaruhi oleh kebiasaan hidup udang yang memiliki sifat kanibalisme, yaitu suka memangsa sesama jenis. Sifat tersebut dapat muncul bila udang mengalami stres atau pakan yang diberikan kurang (Serihollo *et al.*, 2022).

Tingkat kelangsungan hidup udang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Padat tebar yang tinggi menyebabkan kandungan bahan organik, seperti amonia yang berasal dari sisa pakan dan ekskresi dari udang juga makin tinggi. Sisa-sisa pakan yang tidak termakan akan meningkatkan amonia yang bersifat toksik bagi udang. Kepadatan tinggi menyebabkan sering terjadi kompetisi udang dalam memperebutkan makanan yang membuat udang suka memangsa sesama jenis karena pakan yang diberikan kurang sehingga berdampak terhadap pertumbuhan yang tidak merata dan tingkat kematian yang tinggi. Menurunnya tingkat kelangsungan hidup udang disebabkan karena padat penebaran tinggi yang akan meningkatkan kompetisi udang dalam mendapatkan makanan, ruang gerak, tempat hidup, dan oksigen. Faktor yang paling mempengaruhi kelangsungan hidup udang yaitu, pengelolaan dalam pemberian pakan dan pengelolaan kualitas air yang baik pada media pemeliharaan (Putri *et al.*, 2020). Berdasarkan penelitian Syukri & Ilham, (2016) bahwa kelangsungan hidup larva udang windu sangat dipengaruhi oleh faktor kualitas air dan pakan. Kualitas air yang baik akan mendukung metabolisme, proses fisiologi seperti osmoregulasi, dan memperlancar pergantian kulit pada udang.

1.3.6 Kualitas Air

Manajemen kualitas air sebagai media budi daya memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan budi daya udang karena berpengaruh terhadap interaksi lingkungan, patogen, dan kondisi udang yang secara langsung akan memengaruhi tingkat kesehatan udang, pertumbuhan, maupun kelangsungan hidup udang (Mulyadi, 2022). Di sisi lain, kualitas air yang buruk dapat menyebabkan stres yang membuat pertumbuhan terganggu karena menurunnya nafsu makan. Oleh karena itu, dalam budi daya udang, penting untuk menjaga daya dukung lingkungan agar tidak terjadi kegagalan panen (Farabi & Latuconsina, 2023). Beberapa hal parameter kualitas yang mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup, yaitu suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (DO), dan parameter kualitas air lainnya (Supono, 2018). Adapun parameter kualitas air sebagai berikut.

1. Suhu

Suhu merupakan parameter fisika pada air yang sangat mempengaruhi kehidupan udang. Suhu merupakan parameter yang memiliki pengaruh besar terhadap kultivan karena sangat mempengaruhi berbagai proses fisiologis seperti tingkat respirasi, efisiensi pakan pertumbuhan, perilaku, dan reproduksi (Muarif, 2016). Metabolisme udang sangat dipengaruhi oleh adanya suhu, hal tersebut dapat dilihat dari jumlah plankton di dalam kolam pemeliharaan. Plankton dapat

berkembang baik dengan keadaan iklim yang sedang. Suhu juga sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen terlarut di dalam air, sehingga semakin tinggi suhu air maka semakin cepat pula air mengalami kejenuhan oksigen (Sahrijanna & Septiningsih, 2017). Perkembangan dan pertumbuhan udang dipengaruhi oleh suhu air yang mempunyai peranan paling besar. Naiknya suhu lingkungan dalam perairan mengakibatkan kecepatan metabolisme udang. Udang akan kurang aktif apabila suhu air turun di bawah 18°C dan pada suhu 15°C atau lebih rendah akan menyebabkan udang stres. Secara umum, suhu optimal bagi udang windu adalah 28—33°C (Erawan *et al.*, 2021; Haruna *et al.*, 2021). Namun, perubahan suhu mendadak sebesar $\pm 2^\circ\text{C}$ atau lebih meskipun suhu air normal untuk udang, dapat menyebabkan stres yang berakibat fatal (Suwarsih *et al.*, 2016).

2. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan indikator keasaman dan kebasaan air. Nilai pH perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi metabolisme dan proses fisiologis udang (Supriatna *et al.*, 2020). Berpengaruhnya pH untuk keberlangsungan hidup bagi kehidupan organisme perairan secara alami sangat dipengaruhi oleh karbondioksida (CO_2) maupun senyawa-senyawa asam yang berada didalamnya. Udang dapat hidup dengan kisaran kandungan pH yang terlarut didalamnya berkisar antara 6.8—8.8. Perbedaan pH yang berfluktuasi akan sangat berpengaruh buruk bagi keberlangsungan hidup udang. Secara umum, pH optimum bagi udang memiliki kisaran kandungan pH yang terlarut didalamnya antara 7.0—8.7 (Djunaedi *et al.*, 2016; Nur *et al.*, 2022; Syukri & Ilham, 2016). Hasil penelitian Liew *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa pH 5.4—6.4 dapat mengganggu pertumbuhan larva udang. Hal ini terlihat dari proses metamorfosis larva hingga *postlarval* yang memakan waktu lebih lama dibandingkan pada nilai pH di atas 7. Selain itu, tingkat kelangsungan hidup dan nafsu makan larva yang dipelihara pada pH rendah lebih rendah dibandingkan pada pH netral. Oleh karena itu, pemantauan tingkat pH selama pemeliharaan larva penting dilakukan untuk mencegah cacat pertumbuhan.

3. Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO) merupakan variabel kualitas air yang sangat penting dalam budi daya udang. Oksigen terlarut sangat dibutuhkan semua organisme akuatik untuk metabolisme. Oksigen terlarut mempengaruhi *feed intake*, resistensi terhadap penyakit, dan metabolisme udang (Wahyuni *et al.*, 2022). Kebutuhan oksigen terlarut untuk setiap jenis organisme berbeda, tergantung pada jenis yang mentolerir fluktuasi (naik turunnya) oksigen. Kebutuhan oksigen pada larva udang semakin meningkat seiring bertambahnya waktu dan terjadinya perubahan tahapan perkembangan larva (Kurniaji *et al.*, 2023). Umumnya semua organisme akuatik yang dibudidayakan (kepiting, udang, dan ikan) tidak mampu mentolerir perubahan fluktuasi oksigen yang ekstrim (mendadak) (Dwisaputra *et al.*, 2019).

Oksigen terlarut (DO) dalam air sangat mendukung untuk kegiatan respirasi larva. Apabila kandungan DO dalam air sangat rendah, maka kandungan CO_2 akan meningkat. Kadar DO dalam media kolam atau akuarium yang optimum pada kisaran

5—7 ppm karena kisaran tersebut kadar yang sangat baik untuk pertumbuhan larva udang. Menurut penelitian Suhendar *et al.*, (2020) bahwa kandungan oksigen terlarut (DO) pada kisaran minimal 5—7 ppm dapat mendukung dalam keberlangsungan kegiatan budi daya ikan ataupun udang.

1.3.7 *Internet of Things*

Teknologi *internet of things* atau lebih sering disebut IoT berkembang begitu pesat di era saat ini (Muzaidi *et al.*, 2022). *Internet of things* merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung dengan sensor secara terus-menerus. Konsep ini mempunyai kemampuan seperti berbagi data dan remote kontrol kepada prototipe yang telah dirancang. Komponen mikro kontroler yang telah dirancang akan bekerja dan tersambung ke jaringan internet lokal dan global. *Prototipe* seperti sensor dapat memonitoring data secara *real time* melalui internet lokal atau global (Yunior & Kusriani, 2021).

Monitoring kualitas air didefinisikan sebagai kumpulan data pada tempat yang ditetapkan atau diinginkan. Pada interval berkala memberikan informasi yang digunakan untuk menggambarkan kondisi air setiap waktu (Lakshmi Kantha *et al.*, 2021). Saat ini, terdapat beberapa solusi yang mempermudah para pembudidaya dalam memonitoring kualitas air kolam budidayanya. Namun, masih sedikit yang menyajikan solusi dalam memonitor dan mengontrol kualitas air budidaya di waktu yang bersamaan. Salah satu penggunaan sistem monitoring yang berintegrasi dengan IoT, yaitu pemantauan kualitas air secara *real time*. Menggunakan *internet of things* (IoT) biaya tenaga kerja dapat dikurangi dan produktivitas dapat ditingkatkan. Teknologi tersebut akan berdampak signifikan pada pemantauan dan analitik di masa depan (Chiu *et al.*, 2022).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Dwiyani *et al.*, (2019) dalam pengujian pemantauan kualitas air pada perikanan budi daya berbasis *internet of things* (IoT) pada beberapa kolam. Implementasi prototipe tentang konsep sistem pemantauan jarak jauh dengan teknologi IoT yang ditujukan untuk memonitor kualitas air pada perikanan budi daya. Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem monitoring berbasis *internet of things* (IoT) telah bekerja dengan baik dan mampu mengukur nilai parameter air seperti pH, suhu, salinitas, dan oksigen terlarut (DO). Setiap sensor mengirimkan data dari sistem yang tertanam ke server melalui modul transmisi nirkabel. Data yang diterima setiap sensor parameter dikendalikan oleh alat mikro kontroler arduino yang mengatur penyimpanan, komparasi dan transmisi data. Unit komputer yang telah terhubung dengan arduino melalui jaringan *Wifi* akan secara langsung (*real time*) menerima nilai parameter yang terdeteksi.

BAB II. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada November 2023 sampai Desember 2023, bertempat di *hatchery* pembenihan udang Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar, Sulawesi Selatan.

2.2 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan saat penelitian dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 2. Bahan yang digunakan selama penelitian

Nama Bahan	Fungsi
Larva udang windu (<i>Penaeus monodon</i>)	Hewan uji penelitian
Air laut	Media pemeliharaan
Air Tawar	Sterilisasi
Pakan buatan	Pakan hewan uji
Pakan alami (<i>Skeletonema costatum</i>) & (<i>Artemia salina</i>)	Pakan hewan uji
Buffer pH 4 & 7	Kalibrasi sensor pH
Box plastic	Tempat sensor agar tidak terkena air laut
Tissue	Membersihkan sensor
Isolasi	Menutup konektor sensor
Kantong panen	Pengepakan benur
Terpal	Menutup bak pemeliharaan
ATK	Bahan penunjang selama penelitian

Tabel 3. Alat yang digunakan selama penelitian

Nama Alat	Fungsi
Bak pemeliharaan 4m x 6m x 1.5m	Wadah pemeliharaan
Bak penampungan air laut	Wadah penampungan air laut steril
Batu aerasi	Penghasil gelembung oksigen
Kerang aerasi	Pengatur jumlah oksigen
Blower	Sumber suplai oksigen
Selang aerasi	Penghubung blower dan batu aerasi
Pipa aerasi	Penghubung blower dan selang aerasi
Pompa celup	Untuk memindahkan air laut ke bak penampungan
Filter bag	Menyaring air
Baskom	Wadah panen
Selang sipon	Membersihkan wadah panen
Seser benur	Panen benur
Kelambu panen	Panen benur
Takaran benur	Menakar benur

Gelas 200 mL	Pengamatan sampling
pH Meter	Mengukur pH
Orbit	<i>Wireless</i> internet
Kabel USB Printer V2.0 NYK	Penghubung Raspberry Pi dengan Arduino
Water Quality Digital: Raspberry Pi 4 Model B, Arduino Uno R3, DO Sensor (SEN0237-A), pH Sensor (SEN0161-V2), TDS Sensor (SEN0244), Waterproof Temperature (KIT0021)	Mengukur kualitas air secara <i>real time</i>
Laptop	Tempat pembacaan data monitoring kualitas air

2.3 Pelaksanaan Penelitian

2.3.1 Hewan Uji

Adapun hewan uji yang digunakan pada penelitian ini, yaitu larva udang windu (*Penaeus monodon*) yang diperoleh induk udang windu dari Barru, Sulawesi Selatan. Jumlah larva udang windu yang digunakan sebanyak 1.500.000 ekor. Padat penebaran yang optimal sesuai SNI 01-6144-2006 untuk stadia nauplius adalah 50—100 ekor/L.

2.3.2 Wadah Penelitian

Wadah yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu bak pemeliharaan larva dengan ukuran 4m x 6m x 1,5m dengan ketinggian air 80 cm sebanyak 1 buah dengan volume air sebanyak 19.200 liter atau 19.2 ton.



Gambar 7. Bak pemeliharaan

2.3.3 Pakan Uji

Pakan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu pakan alami dan pakan buatan. Adapun jenis pakan alami yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *Skeletonema costatum* dan *Artemia salina*. Pakan diperoleh dari pembudidayaan Balai Perikanan Budidaya Air Payau, Takalar. Jenis pakan buatan terdiri dari Lanzy ZM, Lanzy MPL, Lanzy PL, Frippak 1 car, Frippak PL+150, Frippak 300, Flake, dan Green-Sp.

2.3.4 Prosedur Penelitian

2.4.3.1 Persiapan Wadah

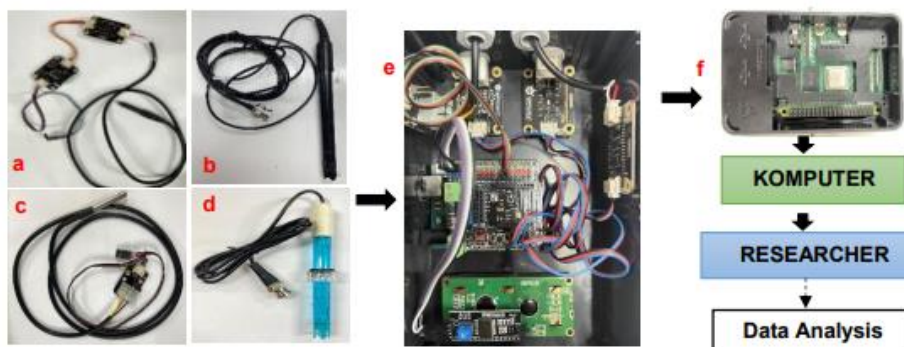
Persiapan wadah pemeliharaan dilakukan terlebih dahulu pemasangan instalasi. Batu aerasi, timah pemberat, dan kran aerasi masing-masing dipasangkan setiap selang, kemudian dibilas dengan air tawar lalu dicuci dengan menggunakan detergen hingga bersih lalu dibilas dengan menggunakan air tawar hingga tidak berbusa kemudian dijemur hingga kering. Selang aerasi tiap bak diberi tanda, kemudian dicuci dengan menggunakan detergen, lalu selang dibilas dengan menggunakan air tawar hingga tidak berbusa kemudian dijemur hingga kering dan air didalam selang tidak ada lagi. Sebelum dipasang selang aerasi, timah pemberat, batu aerasi dan kran aerasi terlebih dahulu dilakukan perendaman dengan larutan HCL selama 24 jam. Selanjutnya, bak pemeliharaan dipasangkan masing-masing aerasi. Setiap aerasi diberi jarak 50 cm yang digantung menggunakan tali. Kemudian mencuci bagian dasar dan dinding menggunakan sikat, larutan deterjen, dan oxalid untuk menghilangkan kerak pada bak lalu dibilas menggunakan air tawar. Setelah kering bak didesinfeksi dengan kaporit sebanyak 100 ppm. Kemudian bak pemeliharaan dinetralkan dengan larutan natrium thiosulfat dengan dosis 50—70% untuk menghilangkan sisa kaporit. Setelah itu, bak pemeliharaan ditutup menggunakan terpal dan didiamkan selama 24 jam. Bak pemeliharaan diisi air laut bersalinitas 31 ppt dengan ketinggian air 80 cm atau sekitar 19.2 ton. Setelah bak pemeliharaan terisi air dilakukan treatment air, yaitu aerasi dinyalakan lalu diberikan Sodium Bikarbonat (SB) sebanyak 50 ppm untuk menetralkan pH air. Selanjutnya, air diberi Ethlene Diamine Tetra Acid (EDTA) sebanyak 7 ppm untuk mengikat logam berat dalam air.

2.4.3.2 Penyetingan Sensor Monitoring Kualitas Air

Perangkat Arduino uno dan Raspberry Pi disimpan didalam wadah tertutup agar tidak terkena air laut yang digantung diatas bak pemeliharaan. Selanjutnya, setiap sensor diletakkan pada bak pemeliharaan sedangkan. Setelah sensor berada di bak pemeliharaan, dilakukan setting perangkat *internet of things* dengan komputer melalui program VNC Viewer untuk pengukuran kualitas air secara *real time*.

Penyetingan sensor monitoring kualitas air terlebih dahulu dihubungkan ke Arduino Uno. Sebelum digunakan, dilakukan penginstalan aplikasi khusus, yaitu "Arduino IDE" agar Arduino Uno dapat diakses. Selanjutnya, dilakukan pemanggilan tiap sensor (Suhu, DO, dan pH) yang dibuatkan librarynya masing-masing kemudian diupload ke Arduino IDE sebagai tempat coding supaya sensor tersebut dapat

terbaca. Setelah library unit masing-masing sensor dan aplikasi Arduino IDE telah diinstall, maka dilakukan proses kalibrasi menggunakan cairan kalibrasi masing-masing sensor. Kalibrasi suhu berada pada suhu 27°C, kalibrasi DO berada pada angka 0 mg/L, kalibrasi pH bernilai 4 dan 7. Proses kalibrasi dalam kecerdasan buatan penting dilakukan agar diperoleh nilai awal atau nilai standar terlebih dahulu. Saat proses kalibrasi dilakukan uji coba beberapa kali untuk mengetahui presentasi standar errornya. Sehingga, sebelum digunakan dalam proses pemeliharaan terlebih dahulu dilakukan pengukuran secara manual kemudian dikalibrasi untuk mendapatkan angka yang sesuai (Asnur, 2023).



Gambar 8. Mekanisme Kecerdasan Buatan: (a) TDS Sensor, (b) DO Sensor, (c) Temperature Sensor, (d) pH Sensor, (e) Arduino Uno, (f) Raspberry Pi (Asnur, 2023)

Secara umum, mekanisme kerja *internet of things* (IoT) sensor mengcolleting data dan mengirim data ke microcontroler, data yang diterima dari microcontroler akan diteruskan ke raspberry sebagai server pengumpul data, data yang diterima dari raspberry ditampilkan ke layar monitor secara virtual (Asnur, 2023). Selanjutnya, setelah Arduino Uno sudah bisa diakses maka dihubungkan ke Raspberry Pi yang setelah itu disambungkan ke stop kontak. Raspberry Pi yang menyala akan mengirimkan alamat IP ke komputer. Alamat IP tersebut dimasukkan ke dalam aplikasi VNC Viewer untuk menjalankan program dan menampilkan data. Data akan tersimpan secara otomatis di komputer dalam bentuk *Comma Separated Values* (CSV) dengan rentang waktu data monitoring kualitas air yang diperoleh

2.4.3.3 Penebaran Benih

Proses penebaran naupli, pemberian antibiotik dilakukan terlebih dahulu dengan memberikan elbazin sebanyak 0.89 ppm pada media pemeliharaan. Penebaran benih dilakukan dengan aklimatisasi terlebih dahulu. Aklimatisasi dimulai dengan membuka kantong naupli yang kemudian memasukkan naupli ke dalam baskom. Baskom yang berisi naupli diletakkan diatas permukaan air bak pemeliharaan selama 5 menit. Setelah suhu air di baskom sama dengan suhu air bak, maka naupli kemudian ditebar dengan cara menenggelamkan baskom ke dalam bak pemeliharaan secara perlahan agar naupli dapat keluar dari baskom. Jumlah naupli yang di tebar adalah 1.500.000 ekor untuk volume air sebanyak 19.200 liter dengan kepadatan sebanyak 78 ekor/L.

2.4.3.4 Pemeliharaan larva

Pemeliharaan larva dimulai dari fase *nauplius* yang ditebar kedalam bak pemeliharaan. Pemeliharaan larva dilakukan dengan pemberian pakan alami (*Skeletonema costatum* dan *Artemia salina*) dan pakan buatan. Pemberian pakan alami *Skeletonema costatum* saat fase *nauplius* hingga *mysis*. Pakan alami *Skeletonema costatum* dikultur pada bak beton 4m x 3m x 1.6m dengan volume air 12 ton dengan pemberian pupuk NPK 7.5 ppm dan silikat 15 ppm *Skeletonema costatum* dipanen setelah 24 jam. Pemberian pakan alami *Artemia* saat larva memasuki fase *post larva*. *Artemia* dikultur dengan menggunakan sistem hidrasi atau perendaman menggunakan bak kultur. *Cysta Artemia salina* direndam dengan air laut dan diberi aerasi. *Cysta Artemia salina* akan dipanen setelah 24 jam. *Artemia* dipanen menggunakan seser kemudian dimasukkan kedalam ember yang berisi air laut. Ember yang berisi *Artemia* kemudian dituang kedalam bak pemeliharaan *post larva* udang. Pemberian pakan buatan diracik sesuai fase larva udang. Pemberian pakan buatan untuk larva udang dilakukan dengan memasukkan bahan pakan buatan pada saringan ukuran 250 mikron lalu dikucek dalam ember air hingga *flake* hilang dari saringan. Setelah *flake* hilang, pakan buatan di dalam ember dituang ke dalam bak pemeliharaan. Pemberian pakan alami dan pakan buatan masing-masing dilakukan dengan frekuensi 4 kali sehari sehingga pemberian pakan dilakukan sebanyak 8 kali. Untuk pakan alami diberikan pada pukul 08:00, 14:00, 20:00, dan 02:00. Sedangkan pakan buatan diberikan pada pukul 11:00, 17:00, 23:00, dan 05:00. Dosis pemberian pakan alami *Skeletonema costatum* pada pemeliharaan udang windu saat fase Z1—Z3 ($20 \cdot 10^3$ sel/mL) per hari, fase M1—M2 ($25 \cdot 10^3$ sel/mL) per hari, M3—PL2 ($35 \cdot 10^3$ sel/mL) per hari, dan dosis pemberian *Artemia salina* saat fase M3—PL2 (15 ind/larva) per hari. Dosis pemberian pakan buatan pada pemeliharaan udang windu adalah fase Z1—Z3 (3 ppm/hari), Z3—M2 (6 ppm/hari), M3—PL2 (8 ppm/hari)

2.4.3.5 Monitoring Kualitas Air

Kualitas air pada setiap perlakuan dimonitoring menggunakan sensor secara *real time*. Data dari sensor tersebut akan diperoleh melalui program mikrokontroler Arduino uno. Data kualitas air yang diukur meliputi suhu, oksigen terlarut (DO), dan pH yang dikirim ke komputer dengan memanfaatkan perangkat Raspberry Pi sebagai *Internet of Things* (IoT)

2.4 Pengamatan dan Pengukuran

2.4.1 Kualitas Air

Parameter kualitas air yang akan diamati pada penelitian adalah suhu, oksigen terlarut (DO), dan derajat keasaman (pH)

2.4.2 Kelangsungan Hidup

Kelangsungan hidup atau bisa disebut *survival rate* (SR) merupakan persentase kultivan uji yang masih hidup pada akhir penelitian. Menurut Arzad *et al.*, (2019), kelangsungan hidup kultivan dihitung menggunakan rumus berikut.

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

Keterangan

SR : *Survival rate* (%)

N_t : Jumlah kultivan pada akhir penelitian (ekor)

N_0 : Jumlah kultivan pada awal penelitian (ekor)

2.5 Analisis Data

Data perubahan kualitas air larva udang windu dianalisis secara deksriptif dalam bentuk grafik. Selain itu, hubungan perubahan kualitas air terhadap kelangsungan hidup larva udang windu dianalisis secara deskriptif. Data parameter kualitas air menggunakan analisis berdasarkan baku mutu air, dengan cara membandingkan nilai hasil pengukuran dari masing-masing parameter fisika, kimia, dan biologi yang menggunakan sistem monitoring *internet of things* (IoT). Pada grafik dicantumkan nilai baku mutu untuk masing-masing parameter sehingga dapat dibandingkan antara hasil pengukuran dan nilai mutu pada bak pemeliharaan.