

TESIS

**PREDIKSI KONSUMSI OKSIGEN LARVA BANDENG
BERBASIS IoT EDGE DEVICE MENGGUNAKAN METODE
SES (SINGLE EXPONENTIAL SMOOTHING)**

*Prediction of Oxygen Consumption Milkfish Larvae using Single
Exponential Smoothing Method in IoT Edge Device*

HADY PRASETYA HAMID

D082192003



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INFORMATIKA

DEPARTEMEN TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

TESIS

PREDIKSI KONSUMSI OKSIGEN LARVA BANDENG BERBASIS IoT EDGE DEVICE MENGGUNAKAN METODE SES (SINGLE EXPONENTIAL SMOOTHING)

*Prediction of Oxygen Consumption Milkfish Larvae using Single
Exponential Smoothing Method in IoT Edge Device*

HADY PRASETYA HAMID

D082192003



PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

DEPARTEMEN TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

PENGAJUAN TESIS

**PREDIKSI KONSUMSI OKSIGEN LARVA BANDENG
BERBASIS IoT EDGE DEVICE MENGGUNAKAN METODE
SES (SINGLE EXPONENTIAL SMOOTHING)**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Informatika

Disusun dan diajukan oleh

HADY PRASETYA HAMID

D082192003

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2024

TESIS

**PREDIKSI KONSUMSI OKSIGEN LARVA BANDENG
BERBASIS IOT EDGE DEVICE MENGGUNAKAN METODE SES
(SINGLE EXPONENTIAL SMOOTHING)**

**HADY PRASETYA HAMID
D082192003**

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Magister pada tanggal 24 Juli 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Teknik Informatika
Departemen Teknik Informatika
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa

Mengesahkan:

Pembimbing Utama



Dr.Eng. Ir. Muhammad Niswar, S.T., M.IT
NIP. 19730922 199903 1 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Ady Wahyudi Paundu, S.T., M.T
NIP. 19750313 200912 1 003

Ketua Program Studi
S2 Teknik Informatika



Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc
NIP. 19640427 198910 1 002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, M.T.,IPM.,ASEAN.Eng.
NIP. 19730926 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Hady Prasetya Hamid
Nomor mahasiswa : D082192003
Program studi : S2 Teknik Informatika

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Prediksi Konsumsi Oksigen Larva Bandeng Berbasis IoT Edge Device Menggunakan Metode SES (Single Exponential Smoothing)” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Eng. Ir. Muhammad Niswar, S.T., M.InfoTech. dan Dr.Eng. Ady Wahyudi Paundu, S.T., M.T. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. 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 tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Prosiding The 3rd International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA) 2023, halaman 397-401, dan DOI: 10.1109/ICICyTA60173.2023.10428823 sebagai artikel dengan judul “Prediction of Oxygen Consumption in Milkfish Larvae using Single Exponential Smoothing Method in Edge Device”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 24 Juli 2024

Yang menyatakan



Hady Prasetya Hamid

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur Senantiasa kita panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan Kasih Sayang serta Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penelitian dengan judul **“Prediksi Konsumsi Oksigen Larva Bandeng Berbasis IoT Edge Device Menggunakan Metode SES (Single Exponential Smoothing)”** dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta Salam tidak lupa kita senantiasa kirimkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat manusia.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar **Magister Komputer (M.Kom)** pada program S2 Teknik Informatika, Departemen Teknik Informatika, Universitas Hasanuddin, Makasar. Dengan mengucapkan syukur yang sedalam-dalamnya, gelar ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, **Drs. Hamid, M.Si** dan ibunda **Adila Zainuddin, S.Pd** yang senantiasa memberikan dukungan baik dalam segi moral dan materil, motivasi dan doa yang tidak henti-hentinya dipanjatkan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik, serta istri tercinta, **Andi Muthiah Adi Nur, S.Pd** yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.

Dalam penyusunan tesis ini, tentunya tidak lepas dari dukungan dari seluruh pihak. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dewan pembimbing, Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Niswar, S.T., M.IT dan Bapak Dr. Eng. Ady Wahyudi paundu, S.T., M.T. yang telah memberikan waktu, tenaga, pikiran, dukungan moril maupun materil serta perhatian yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis.
2. Dewan Penguji, Bapak Dr. Ir. Amil Ahmad Ilham, ST., M, IT., Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc dan Ibu Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T yang senantiasa memberikan saran yang membangun selama penelitian ini dilakukan.
3. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan semangatnya selama masa perkuliahan.

4. Rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana Teknik Informatika Universitas Hasanuddin yang selalu aktif dalam berdiskusi dan memberikan masukan dalam penyelesaian penelitian ini.
5. Orang-orang terkasih yang tidak sempat dituliskan oleh penulis;

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT. Senantiasa berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah banyak membantu. Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu. Aamiin ya Rabbal Alamin.

Gowa, 24 Juli 2024

Hady Prasetya Hamid

ABSTRAK

HADY PRASETYA HAMID. *Prediksi Konsumsi Oksigen Larva Bandeng Berbasis IoT Edge Device Menggunakan Metode Ses (Single Exponential Smoothing)* (dibimbing oleh **Muhammad Niswar, Ady Wahyudi Paundu.**)

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan prediksi Konsumsi oksigen pada larva dan menganalisis konsumsi oksigen yang berbasis IoT Edge Device. Penelitian ini menggunakan metode SES (Single Exponential Smoothing). Metode SES diterapkan pada Raspberry Pi dalam mengolah data dari sensor. Fokus monitoring pada pengukuran parameter kritis seperti DO (*Dissolved Oxygen*), pH, Suhu, dan Tds. Prototype yang dirancang divalidasi dan dibandingkan menggunakan analisa kimia dan metode statistic dengan metode membaca sampel dengan konsentrasi yang bervariasi. Kemudian prototype yang dirancang dipasang di Aquarium ikan untuk memantau parameter kualitas air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode SES dengan smoothing level 0,9 mendapatkan nilai MSE 0.00266 dan RMSE 0.05155 terkecil dibandingkan dengan metode DES dan TES.

Keywords: Monitoring real-time, kualitas air, larva ikan bandeng, Edge Computing, Single Exponential Smoothing

ABSTRACT

HADY PRASETYA HAMID. *Prediction of Oxygen Consumption Milkfish Larvae using Single Exponential Smoothing Method in IoT Edge Device* (supervised by **Muhammad Niswar, Ady Wahyudi Paundu.**)

This research aims to predict oxygen consumption in larvae and analyze it based on IoT Edge Devices. The study utilizes the Single Exponential Smoothing (SES) method, implemented on a Raspberry Pi to process data from sensors. The focus of the monitoring is on critical parameters such as Dissolved Oxygen (DO), pH, Temperature, and Total Dissolved Solids (TDS). The designed prototype is validated and compared using chemical analysis and statistical methods by reading samples with varying concentrations. Subsequently, the prototype is installed in a fish aquarium to monitor water quality parameters continuously. The results indicate that the SES method, with a smoothing level 0.9, achieved the smallest Mean Squared Error (MSE) of 0.00266 and Root Mean Squared Error (RMSE) of 0.05155, outperforming the Double Exponential Smoothing Exponential Smoothing (DES) and Triple Exponential Smoothing (TES) methods.

Keywords: *Real-time monitoring, Dissolved Oxygen, milkfish larvae, Edge Computing, Single Exponential Smoothing*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 LATAR BELAKANG	1
I.2 PERUMUSAN MASALAH	2
I.3 TUJUAN PENELITIAN.....	2
I.4 MANFAAT PENELITIAN	2
I.5 BATASAN MASALAH.....	3
BAB II KAJIAN LITERATUR DAN METODE PENYELESAIAN MASALAH	4
II.1 KAJIAN PUSTAKA.....	4
II.1.1 Ikan Bandeng (Chanos Chanos).....	4
II.1.2 Edge Computing.....	4
II.1.3 Forecasting	5
II.1.4 Metode Peramalan Time Series	6
II.1.5 Model <i>Exponential Smoothing</i>	7
II.1.6 Analisis Regresi Multivariat	10
II.1.7 Laju Konsumsi Oksigen.....	10
II.1.8 MSE (<i>Mean Square Error</i>)	12
II.1.9 RMSE (<i>Root Mean Square Error</i>).....	12
II.2 TARGET HASIL PENELITIAN.....	13
II.3 KERANGKA PIKIR.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14

III.1	JENIS PENELITIAN	14
III.2	LANGKAH PENELITIAN	14
III.2.1	Studi Literatur	14
III.2.2	Pengumpulan Data	15
III.2.3	Metode Prediksi	15
III.2.4	Evaluasi Hasil.....	15
III.3	SUMBER DATA	16
III.3.1	Hewan Uji	16
III.3.2	Wadah Penelitian	16
III.3.3	Pakan Uji.....	16
III.3.4	Dataset.....	16
III.4	RANCANGAN SISTEM	17
III.5	INSTRUMEN PENELITIAN	18
III.6	WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN	19
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
IV.1	HASIL PERANCANGAN SISTEM.....	20
IV.2	EVALUASI KINERJA SISTEM.....	21
IV.2.1.	DO (Dissolved Oxygen) Sensor SEN0237-A	21
IV.2.2.	pH Sensor	23
IV.2.3.	TDS (Total Dissolved Solids) Dan Waterproof Temperature...25	
IV.2.4.	Laju Konsumsi Oksigen.....	27
IV.2.5.	Evaluasi Single Exponential Smoothing.....	29
IV.2.6.	Hasil Pengujian Central Processing Unit	31
IV.2.7.	Hasil Implementasi Sistem.....	32
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	35
V.1	Kesimpulan	35
V.2	Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA	36	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kerangka Pikir.....	13
Tabel 2. Estimasi Jadwal Penelitian	19
Tabel 3. Spesifikasi Perangkat	20
Tabel 4. Hasil Uji Sensor DO.....	22
Tabel 5. Data Sample Model Regresi Linier	23
Tabel 6. Hasil Uji Sensor pH.....	24
Tabel 7. Hasil Pengujian Sensor TDS dan Temperature	26
Tabel 8. Rata-rata Laju Konsumsi Oksigen	29
Tabel 9. Model Exponential Smoothing.....	30
Tabel 10. Parameter Smoothing, Trend dan Seasonal.....	30
Tabel 11. Tabel Perbandingan Do Aktual dan Do Prediksi	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Arsitektur Edge Computing.....	5
Gambar 2. Metode Botol Respirometer yang digunakan dalam Pengukuran Konsumsi Oksigen	11
Gambar 3. Tahapan Penelitian.....	14
Gambar 4. Alur Rancangan Sistem.	17
Gambar 5. Diagram Skenario Sistem.	18
Gambar 6. Hasil Rancangan Sistem.	21
Gambar 7. (a) Alat Ukur Do Meter, (b) Sensor Do (Dissolved Oxygen).....	21
Gambar 8. Cairan Standar Kalibrasi Zero Dissolved Oxygen.....	22
Gambar 9. Cairan Standar Kalibrasi Nilai pH.....	23
Gambar 10. Alat Ukur pH Meter.....	24
Gambar 11. Hasil Pengujian Tds dan Temperature Sensor.....	25
Gambar 12. Cairan Kalibrasi TDS 1382 ppm	25
Gambar 13. Alat Ukur TDS Meter	26
Gambar 14. Laju Konsumsi Oksigen Harian Rata-rata Larva bandeng Setiap Hari Pengamatan.....	29
Gambar 15. (a) Single Exponential Smoothing, (b) Double Exponential Smoothing, (c) Triple Exponential Smoothing (Add), (d) Triple Exponential Smoothing (Mult.....	31
Gambar 16. Grafik Rata-rata Penggunaan CPU	31
Gambar 17. Do Prediksi dan Do Aktual Harian Pada Setiap Hari Pengamatan.....	34

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Sekitar 580 spesies akuatik saat ini dibudidayakan di seluruh dunia, mewakili kekayaan keanekaragaman genetic baik di dalam maupun di antara spesies. Makan ikan adalah bagian dari tradisi budaya banyak orang dan dalam hal manfaat kesehatan memiliki profil nutrisi yang sangat baik. Ikan memiliki sumber protein, asam lemak, vitamin, mineral, dan mikronutrien esensial yang baik (“Aquaculture,” n.d.). Namun, penambahan penduduk dan peningkatan konsumsi produk akuatik mengakibatkan produksi perikanan global menghadapi tantangan serius.

Bandeng (*Chanos chanos*, Forskal) merupakan salah satu komoditas yang strategis untuk memenuhi kebutuhan protein yang relative murah dan digemari oleh konsumen Indonesia (n.d.). Ikan bandeng merupakan pilihan yang cocok untuk budidaya dikarenakan pertumbuhannya yang cepat (Hussain et al., 2021). Peningkatan permintaan konsumsi ikan bandeng dapat dipenuhi dengan meningkatkan hasil produksi tanpa menambah faktor-faktor produksi dalam usaha budidaya. Namun, efisiensi produksi pembenihan ikan bandeng cenderung menjadi masalah.

Produksi pembenihan priode larva merupakan fase kritis dalam periode pertumbuhan yakni ketika kuning telur sudah habis dan mulai mengkonsumsi makanan dari luar. Pemeliharaan larva sangat bergantung pada ketersediaan pakan, dapat dicerna dengan mudah serta dapat memenuhi kebutuhan nutrisi pada larva agar dapat menunjang pertumbuhan dan sintasan yang baik.(Hatagalung et al., n.d.). Selain ketersediaan pakan, konsumsi oksigen pada larva sangat penting untuk diperhatikan. Konsumsi oksigen pada larva merupakan salah satu indicator fisiologis yang menggambarkan status metabolisme pada larva terkait dengan penggunaan energi. Sehingga, dengan mengetahui ritme konsumsi oksigen pada larva maka dapat ditentukan kebutuhan pakan larva dengan tepat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem prediksi konsumsi oksigen terlarut berbasis Internet of Things (IoT) untuk produksi larva ikan bandeng. Sistem ini dirancang untuk memantau parameter kritis seperti oksigen

terlarut (Dissolved Oxygen) secara real-time. Penelitian ini akan difokuskan pada spesifikasi prototipe untuk menentukan presisi dan akurasi pembacaan sensor untuk menampilkan parameter kualitas air. Prototipe yang dirancang akan divalidasi dan dibandingkan menggunakan analisis kimia dan metode statistik dengan metode membaca sampel dengan konsentrasi yang bervariasi. Kemudian prototipe yang dirancang akan dipasang di Aquarium ikan untuk memantau parameter kualitas air. Data yang dikumpulkan dari *field instrument* akan disimpan dalam database untuk kemudian dilakukan analisis data, dengan data ini studi lebih lanjut akan dilakukan untuk mengoptimalkan dan mengontrol parameter kualitas air untuk produksi larva ikan bandeng.

I.2 PERUMUSAN MASALAH

Bagaimana menentukan prediksi konsumsi oksigen pada larva bandeng dengan tingkat kesalahan terendah?

I.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Melakukan analisis dan peramalan konsumsi oksigen larva bandeng dengan metode *Single Exponential Smoothing*.
2. Mengevaluasi besaran tingkat kesalahan hasil prediksi dari metode *Single Exponential Smoothing*.

I.4 MANFAAT PENELITIAN

1. Membantu masyarakat atau pembudidaya dalam menjaga kualitas air yang baik, mengembangkan produksi pembenihan larva dengan lebih akurat dan efisien .
2. Sebagai sumber pengetahuan bagi pihak akademisi dan peneliti-peneliti yang terkait penelitian yang serupa.

I.5 BATASAN MASALAH

1. Lokasi pengambilan data bertempat di Laboratorium Penangkaran dan Rehabilitasi Ekosistem, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin.
2. Perangkat yang digunakan adalah Raspberry Pi 4 dengan spesifikasi ram 2 GB
3. Data yang dikelola merupakan hasil dari reading sensor perangkat yang dirancang.
4. Peramalan yang digunakan adalah metode Single Exponential Smoothing.

BAB II

KAJIAN LITERATUR DAN METODE PENYELESAIAN MASALAH

II.1 KAJIAN PUSTAKA

II.1.1 Ikan Bandeng (*Chanos chanos*)

Ikan bandeng (*Chanos chanos*) ditemukan di Kawasan Indo-Pasifik yang digunakan sebagai ikan konsumsi, memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan karena banyak digemari dan dimanfaatkan oleh masyarakat. Ikan bandeng merupakan ikan yang kaya akan sumber protein (20-24%), lemak, asam amino, asam lemak, mineral dan vitamin. Komposisi asam amino tertinggi yaitu gulatamat, sedangkan asam lemak tidak jenuh tertinggi oleat 31-32%, mineral makro pada daging ikan bandeng yaitu: Ca, Mg, Na dan K. Sedangkan mineral mikronya Fe, Zn, Cu, Mn. Kandungan vitamin daging ikan bandeng meliputi vitamin A, B1, dan B12 (n.d.).

Klasifikasi ikan bandeng (*Chanos Chanos*) menurut (Vijayan, 2018) adalah sebagai berikut:

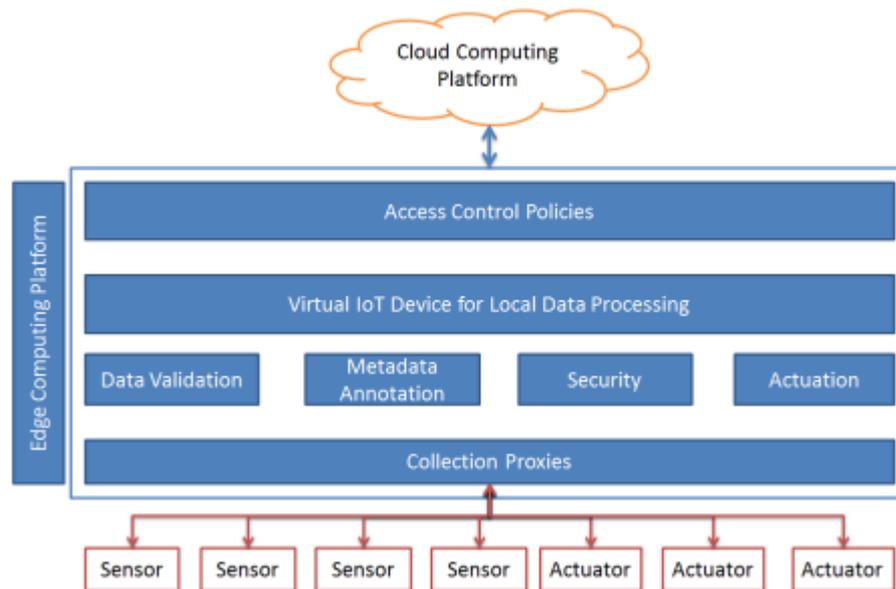
Kingdom	: Animalia
Filum	: Chordata
Ordo	: Gonorynchiformes
Famili	: Chanidae
Genus	: Chanos
Species	: Chanos chanos

II.1.2 Edge Computing

Internet of Things adalah dunia kompleks yang mencakup banyak situasi berbeda. Internet of Things adalah dunia sensor dan objek yang terhubung. Sensor ini melengkapi solusi di mana pengguna menemukan pengalaman nyata dan layanan bernilai tinggi.

Edge Computing adalah paradigma komputasi terdistribusi yang memindahkan pemrosesan data dan layanan komputasi lebih dekat ke sumber data atau pengguna akhir, daripada mengandalkan pusat data yang terpusat. Ini berarti komputasi dilakukan pada perangkat edge jaringan, seperti sensor, gateway, atau

perangkat lain yang dekat dengan data yang dihasilkan atau dikonsumsi (Datta and Bonnet, 2017).



Gambar 1 Arsitektur Edge Computing

II.1.3 Forecasting

Metode forecasting adalah upaya untuk memprediksi atau memprediksi sesuatu yang akan terjadi di masa depan. Pola nilai yang tidak menentu ini diprediksi akan mengetahui kemungkinan harga yang akan terbentuk di masa depan. Proses peramalan dilakukan dengan menggunakan kisaran nilai dalam rangkaian waktu periode tersebut. Peramalan hanyalah perkiraan (tebakan), tetapi dengan menggunakan teknik tertentu, peramalan menjadi lebih mendekati (Rosyid et al., 2019).

Secara umum metode peramalan dapat dibagi dalam dua kategori utama, yaitu metode kuantitatif dan metode kualitatif (Derry and -, 2019).

Metode kuantitatif dapat dibagi ke dalam deret berkala atau kurun waktu (time series) dan metode kausal, sedangkan metode kualitatif dapat dibagi menjadi metode eksploratoris dan normative.

Metode kauntitatif sangat beragam dan setiap Teknik memiliki sifat, ketepatan dan biaya tertentu yang harus dipertimbangkan dalam memilih metode tertentu. Untuk menggunakan metode kuantitatif terdapat tiga kondisi yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Tersedia informasi tentang masa lalu
2. Informasi tersebut dapat dikuantitatifkan dalam bentuk numeric
3. Diasumsikan bahwa beberapa pola masa lalu akan terus berlanjut

II.1.4 Metode Peramalan Time Series

Analisa deret waktu didasarkan pada asumsi bahwa deret waktu tersebut terdiri dari komponen komponen *Trend*/kecenderungan (T), Siklus/*Cycle* (C), Pola Musiman/*Season* (S), dan variasi acak/*Random* (R) yang akan menunjukkan suatu pola tertentu.

Metode *Time series* mempunyai beberapa Teknik yang biasa digunakan tergantung pola permintaan yang terjadi :

1. Metode *Naïve* (Naif)

Teknik peramalan yang mengasumsikan permintaan periode berikutnya sama dengan permintaan pada periode terakhir.
2. *Moving Average*

Peramalan *moving average* (rataan bergerak) menggunakan sejumlah data actual masa lalu untuk menghasilkan peramalan
3. *Weighted Moving Average*

Saat terdapat tren atau pola yang terdeteksi, bobot dapat digunakan untuk menempatkan penekanan yang lebih pada nilai terkini. *Moving average* dengan pembobotan disebut juga *Weighted Moving Average*.
4. *Exponential Smoothing*

Exponential smoothing (penghalusan eksponensial) merupakan metode peramalan rataan bergerak dengan pembobotan di mana titik-titik data dibobotkan oleh fungsi eksponensial.
5. Proyeksi terhadap Tren

Proyeksi Tren (trend linear) adalah Teknik menyesuaikan garis tren pada serangkaian data masa lalu, kemudian memproyeksikan garis pada masa dating untuk peramalan jangka menengah atau jangka Panjang.

II.1.5 Model *Exponential Smoothing*

Smoothing adalah mengambil rata-rata dari nilai pada beberapa periode untuk menaksir nilai pada suatu periode. *Exponential Smoothing* adalah suatu peramalan rata-rata bergerak yang melakukan pembobotan menurun secara exponential terhadap nilai-nilai observasi yang lebih tua. Metode *Exponential Smoothing* merupakan pengembangan dari metode *Moving Average*. Dalam metode ini peramalan dilakukan dengan mengulang perhitungan secara terus menerus dengan menggunakan data baru. Peramalan *Exponential Smoothing* merupakan salah satu kategori metode *time series* yang menggunakan pembobotan data masa lalu secara eksponensial. Kategori ini terdapat beberapa metode yang umum dipakai, antara lain metode *Single Exponential Smoothing*, *Double Exponential Smoothing*, dan *Triple Exponential Smoothing*.

Teknik peramalan bertujuan untuk membuat prediksi atau perkiraan mengenai kejadian atau nilai yang akan datang. Hal ini melibatkan analisis pola data yang tidak dapat diprediksi untuk menentukan potensi hasil atau harga yang mungkin terjadi di masa depan. Proses ini memanfaatkan rentang nilai dari data deret waktu dalam periode tertentu. Peramalan pada dasarnya adalah estimasi atau prediksi, namun dengan menggunakan metodeologi tertentu, keakuratan dan kedekatan perkiraan dapat ditingkatkan (Rosyid et al., 2019).

Single Exponential Smoothing, atau *Simple Exponential Smoothing* sangat cocok untuk peramalan jangka pendek. Metode ini mengasumsikan bahwa data berfluktuasi pada nilai rata-rata yang tetap tanpa menunjukkan tren atau pola pertumbuhan yang konsisten. *Exponential Smoothing* menekankan pengamatan terbaru dalam deret waktu dengan memanfaatkan konstanta pemulusan. Konstanta ini, yang berkisar antara 0 hingga 1 menentukan bobot yang diberikan pada data terbaru saat menghitung nilai perkiraan (Okwara, 2014).

Rumus *Single Exponential Smoothing* sebagai berikut:

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1-\alpha)F_t \quad (1)$$

Dimana:

F_{t+1} = Prediksi untuk periode t+1 (mg/L)

X_t = Nilai actual (mg/L)

α = pemulusan konstan untuk data ($0 < \alpha < 1$)

F_t = Nilai smoothed pada waktu t (mg/L)

Double Exponential Smoothing sering disebut metode Holt. Metode ini digunakan ketika permintaan dipengaruhi oleh tren tetapi tidak dipengaruhi oleh musim. Untuk memprediksi permintaan pada periode berikutnya, kita harus mengetahui perkiraan tingkat/nilai penghalusan baru dan memperkirakan trennya (Maulana and Mulyantika, 2020).

Rumus Metode:

1. Level (L_t):

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

2. Trend (T_t):

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

3. Prediksi (F_{t+h}):

$$F_{t+h} = L_t + hT_t \quad (2)$$

Dimana:

L_t = Nilai level pada waktu t (mg/L)

T_t = Nilai trend pada waktu t (mg/L)

F_{t+h} = Nilai prediksi untuk h periode kedepan (mg/L)

α = Faktor smoothing untuk level

β = Faktor smoothing untuk trend

h = Jangka waktu prediksi

TES merupakan suatu metode yang dapat menangani faktor musiman dan elemen kecenderungan yang muncul secara bersamaan pada suatu data deret waktu. Pada metode ini diperlukan variable tambahan berupa frekuensi untuk menyatakan jumlah periode per siklus. Ada dua jenis model dalam metode ini yang dapat digunakan sesuai dengan jenis musimnya, yaitu model *multiplicative seasonal* dan model *additive seasonal* (Rosyid et al., 2019).

Karakteristik mendasar dari model *multiplicative* adalah besarnya fluktuasi musiman yang bervariasi dan bergantung pada perataan keseluruhan rangkaian waktu. Model ini baik digunakan jika terdapat kecenderungan atau ditandai dengan pola musiman yang meningkat seiring bertambahnya ukuran data. Berikut rumus menghitung model *multiplicative* (Putra et al., 2018).

Rumus Metode:

1. Level (L_t):

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

2. Trend (T_t):

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

3. Musiman (S_t):

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s}$$

4. Prediksi (F_{t+h}):

$$F_{t+h} = (L_t + hT_t)S_{t-s+m} \quad (3)$$

Karakteristik model *additive* cocok untuk memprediksi deret waktu dengan pola musiman yang tidak bergantung pada tingkat rata-rata atau ukuran data. Berikut rumus menghitung model *additive*.

Rumus Metode:

1. Level (L_t):

$$L_t = \alpha (Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

2. Trend (T_t):

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

3. Musiman (S_t):

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s}$$

4. Prediksi (F_{t+h}):

$$F_{t+h} = L_t + hT_t + S_{t-s+m} \quad (4)$$

Dimana:

L_t = Nilai level pada waktu t (mg/L)

T_t = Nilai trend pada waktu t (mg/L)

S_t = Nilai musiman pada waktu t (mg/L)

F_{t+h} = Nilai prediksi untuk h periode kedepan (mg/L)

α = Faktor smoothing untuk level

β = Faktor smoothing untuk trend

γ = Faktor smoothing untuk musiman

m = Panjang periode musiman

h = Jangka waktu prediksi

II.1.6 Analisis Regresi Multivariat

Analisis regresi multivariat adalah metode statistic yang digunakan untuk mengukur pengaruh beberapa variable independent terhadap satu variable dependen (Montgomery et al., n.d.). Dalam penelitian ini, analisis regresi multivariat diterapkan untuk memahami bagaimana TDS (*Total Dissolved Solids*), pH, dan suhu mempengaruhi kadar oksigen terlarut (DO) dalam air yang digunakan untuk memelihara larva bandeng. Persamaan regresi linier berganda digunakan untuk memodelkan DO sebagai variable dependen (Y) dan TDS (X1), pH (X2), serta suhu (X3) sebagai variable independent. Persamaan regresi yang dihasilkan adalah:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (5)$$

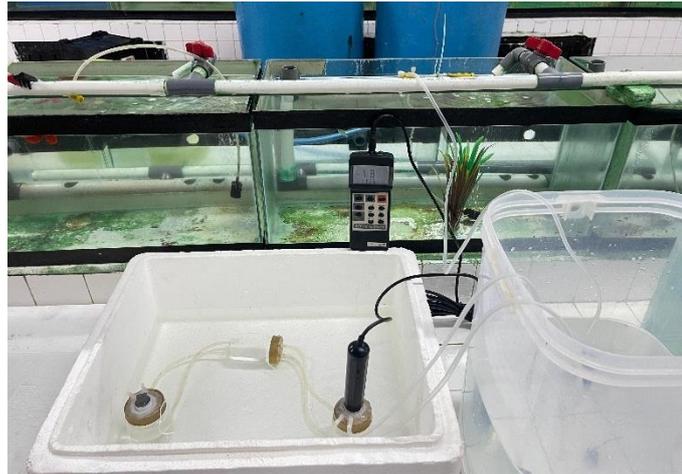
Dimana:

β_0 = intersept
 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = koefisien regresi Tds, pH, dan Suhu

Analisi ini mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi DO dan memungkinkan perumusan strategi yang lebih efektif dalam pengelolaan kualitas air untuk budidaya larva bandeng.

II.1.7 Laju Konsumsi Oksigen

Pengukuran laju konsumsi oksigen dilakukan dalam dua kondisi yang berbeda, saat larva hadir dalam botol respirasi dan saat tidak ada larva dalam botol respirasi. System eksperimental terdiri dari tiga botol respirasi dengan volume 120 ml yang disusun dalam satu rangkaian. Untuk menjaga stabilitas suhu, botol-botol ini direndam dalam air selama pengukuran. Oksigen terlarut diukur menggunakan DO meter pada awal dan akhir setiap pengukuran, dengan setiap sesi pengukuran berlangsung 30 menit. Air laut yang digunakan berasal dari wadah dengan salinitas yang sama seperti tempat larva dipelihara, dan dilengkapi dengan aerasi kuat untuk mencapai kejenuhan oksigen sebelum dialirkan ke masing-masing botol respirasi. Setelah diisi penuh, botol-botol respirasi ditutup rapat untuk mencegah adanya gelembung udara di dalamnya selama proses pengukuran.



Gambar 2 Metode botol respirometer yang digunakan dalam pengukuran konsumsi oksigen

Untuk mengetahui laju konsumsi oksigen dihitung dengan formula laju konsumsi oksigen yang dikemukakan oleh (Djawad et al., n.d.) sebagai berikut:

(a) Untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut tanpa larva (mg/jam):

$$X = (Do_{awal} - Do_{akhir}) \times \frac{V}{1000} \cdot \frac{T}{60}$$

(b) Untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut dengan larva (mg/jam):

$$Y = (Do_{awal} - Do_{akhir}) \times \frac{V}{1000} \cdot \frac{T}{60}$$

dimana:

X : Oksigen terlarut tanpa larva (mg/jam)

Y : Oksigen terlarut dengan adanya larva (mg/jam)

V : Volume botol respirasi (ml)

Do awal/akhir : Kelarutan oksigen awal/akhir (mg/L)

T : Waktu (menit/jam)

(c) Untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut yang sebenarnya (mg/jam):

$$Z = Y - X$$

(d) Untuk mengetahui satuan jumlah oksigen terlarut sebenarnya ke dalam satuan $\mu\text{mol O}_2/\text{jam}$:

$$W = \frac{Z \times 1000}{\text{berat molekul oksigen}}$$

(e) Untuk mengubah satuan jumlah oksigen terlarut sebenarnya ke dalam $\mu\text{L O}_2/\text{jam}$:

$$U = W \times 22,41$$

Dimana diasumsikan bahwa 1 mol $O_2 = 22,41$

- (f) Untuk mengetahui laju konsumsi oksigen per berat badan basah larva ($\mu L O_2/mg \text{ BB/jam}$):

$$N = \frac{U}{mg \text{ berat badan}}$$

II.1.8 MSE

MSE merupakan rata-rata kesalahan kuadrat antara nilai actual dan nilai peramalan. Metode *Mean Squared Error* secara umum digunakan untuk mengecek estimasi berapa nilai kesalahan pada peramalan. Nilai *Mean Squared Error* yang rendah atau nilai *mean squared error* yang mendekati nol menunjukkan bahwa hasil peramalan sesuai dengan data actual dan bisa dijadikan untuk perhitungan peramalan di periode mendatang. Metode *Mean Square Error* biasanya digunakan untuk mengevaluasi metode pengukuran dengan model regresi atau model peramalan seperti *Moving Average*, *Weighted Moving Average* dan Analisis *Trendline*. Cara menghitung *Mean Squared Error* (MSE) adalah melakukan pengurangan nilai data actual dengan data peramalan dan hasilnya dikuadratkan (*squared*) kemudian dijumlahkan secara keseluruhan dan membaginya dengan banyaknya data yang ada.

II.1.9 RMSE

RMSE merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. *Root Mean Squared Error* (RMSE) merupakan salah satu cara untuk mengevaluasi model *regresi linear* dengan mengukur tingkat akurasi hasil perkiraan suatu model. RMSE dihitung dengan mengkuadratkan error (prediksi – observasi) dibagi dengan jumlah data (=rata-rata), lalu diakarkan. RMSE tidak memiliki satuan. *Root Mean Square Error* merupakan salah satu kriteria dalam menentukan model peramalan selain MAPE, MAD dan MSE. Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai observasinya. RMSE menghitung seberapa berbedanya seperangkat nilai. Semakin kecil nilai RMSE, semakin dekat nilai yang diprediksi dan diamati.

II.2 TARGET HASIL PENELITIAN

Berdasarkan penelitian yang akan dikerjakan maka target penelitian diharapkan mampu menghasilkan sistem monitoring kualitas air. Penelitian ini juga diharapkan mampu memprediksi pemberian jumlah pakan larva bandeng berdasarkan rancangan percobaan yang digunakan dengan tiga perlakuan yang berbeda sehingga hasil akhirnya adalah menghasilkan laporan Analisa pertumbuhan larva bandeng bagi pembudidaya dan sebagai sumber pengetahuan bagi akademisi dan peneliti-peneliti selanjutnya yang ingin melakukan penelitian serupa.

II.3 KERANGKA PIKIR

Berikut ini adalah kerangka pikir dari penelitian ini :

Tabel 1 Kerangka Pikir

Latar Belakang	
<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi produksi pembenihan ikan bandeng cenderung menjadi masalah • Kurangnya perhatian terhadap konsumsi oksigen pada larva bandeng. 	
Rumusan Masalah	
<ul style="list-style-type: none"> • Bagaimana menentukan prediksi konsumsi oksigen dengan tingkat kesalahan rendah? 	
Tujuan	
<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan penentuan konsumsi oksigen dengan metode <i>Single Exponential Smoothing</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Mengevaluasi tingkat kesalahan dari metode <i>Single Exponential Smoothing</i>.
Metode Penyelesaian	
Machine Learning, <i>Single Exponential Smoothing</i>	<i>MSE, RMSE</i>
Hasil	
<ul style="list-style-type: none"> • Menghasilkan penentuan konsumsi oksigen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menghasilkan laporan prediksi konsumsi oksigen.