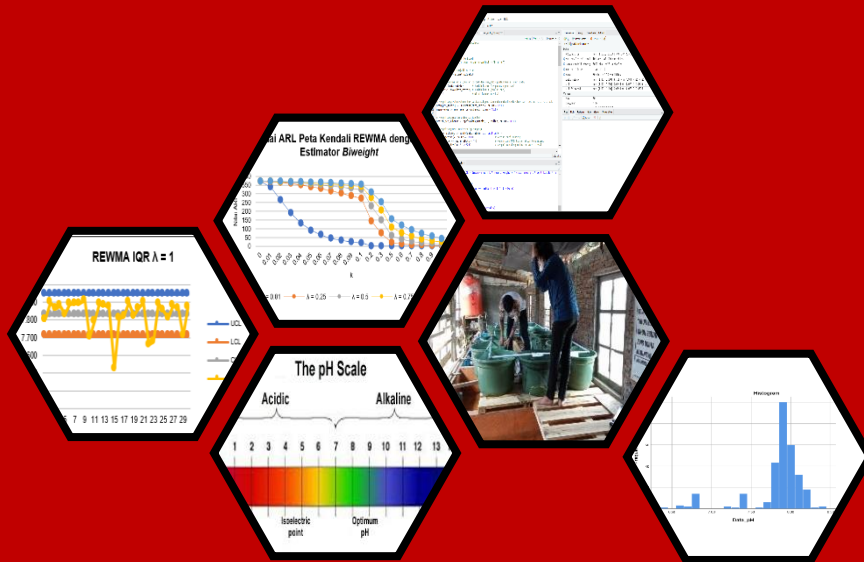


**PENERAPAN PETA KENDALI *ROBUST EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* PADA DATA KANDUNGAN pH AIR BUDIDAYA IKAN LELE DI KELOMPOK PERIKANAN BINA BERSAMA KOTA MAKASSAR**



**RAFLI SETIAWAN NASIR**

**H051211011**



**PROGRAM STUDI STATISTIKA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2025**

**PENERAPAN PETA KENDALI *ROBUST EXPONENTIALLY WEIGHTED  
MOVING AVERAGE* PADA DATA KANDUNGAN pH AIR BUDIDAYA  
IKAN LELE DI KELOMPOK PERIKANAN BINA BERSAMA KOTA  
MAKASSAR**

**RAFLI SETIAWAN NASIR  
H051211011**



**PROGRAM STUDI STATISTIKA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2025**

**PENERAPAN PETA KENDALI *ROBUST EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* PADA DATA KANDUNGAN pH AIR BUDIDAYA IKAN LELE DI KELOMPOK PERIKANAN BINA BERSAMA KOTA MAKASSAR**

RAFLI SETIAWAN NASIR  
H051211011

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Statistika  
Program Studi Statistika

pada

**PROGRAM STUDI STATISTIKA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2025**

## SKRIPSI

PENERAPAN PETA KENDALI *ROBUST EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* PADA DATA KANDUNGAN pH AIR BUDIDAYA IKAN LELE DI KELOMPOK PERIKANAN BINA BERSAMA KOTA MAKASSAR

RAFLI SETIAWAN NASIR  
H051211011

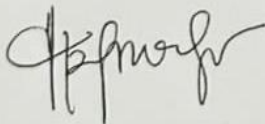
Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Statistika pada 13 Januari 2025 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Statistika  
Departemen Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

Mengesahkan:  
Pembimbing tugas akhir,



Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.  
NIP. 19750429 200003 2 001

Mengetahui:  
Ketua Program Studi,



Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si.  
NIP. 19770808 200501 2 002

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Penerapan Peta Kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* pada Data Kandungan pH Air Budidaya Ikan Lele di Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.). 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 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, 13 Januari 2025



RAFLI SETIAWAN NASIR  
NIM H051211011

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah *Shallallahu Alaihi Wasallam* beserta keluarga dan para sahabatnya. *Alhamdulillahirabbil'amin*, berkat usia panjang dan kesehatan yang diberikan oleh Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, penelitian ini dapat terlaksana dan skripsi ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi, dan arahan pembimbing saya yaitu ibu **Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.** Saya mengucapkan banyak terima kasih kepada beliau. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada ibu **Prof. Sri Astuti Thamrin, S.Si., M.Stat., Ph.D.** dan ibu **Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si.** selaku tim penguji yang telah memberikan kritikan dan saran yang membangun dalam menyempurnakan skripsi ini. Tidak luput saya mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Universitas Hasanuddin dan seluruh *civitas* akademik Departemen Statistika FMIPA Unhas yang telah memfasilitasi saya untuk menempuh program sarjana ini.

Terkhusus kepada almarhum kedua orang tua tercinta saya, bapak **Alm. H.M. Nasir, S.Sos.** dan ibu **Almh. Hj. Asmirah, S.Pd.AUD.** Saya mengucapkan terima kasih yang amat berlimpah karena berkat doa, dukungan, motivasi, dan pengorbanan mereka sehingga penulis dapat merampungkan skripsi ini meskipun belum bisa melihat anaknya berada dalam posisi ini. Kepada kakak-kakak tersayang saya, **Risnahandayani, S.Pd.AUD.** dan **Rusmalasari, S.Pd.** yang telah memberikan saya semangat dalam menyelesaikan skripsi ini, serta keluarga besar penulis, terima kasih atas doa mulia dan dukungannya selama ini.

Ucapan terima kasih juga kepada teman-teman seperantauan saya **Fikri, Adhit, Miftha, Rahma, Dina** dan teman-teman seperjuangan **Statistika Angkatan 2021** lainnya terutama **Afdal, Barra, Aul, Adjan, Agung** yang telah menghibur dan menemani penulis dalam suka maupun duka selama perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih juga kepada lembaga yang selama ini membentuk mental dan kepribadian saya yakni **BE HIMASTAT FMIPA Unhas** terkhusus teman-teman **KURTO2IS** karena telah memberikan banyak pengalaman, kebersamaan, cerita suka dan duka, dan kenangan selama menjadi bagian dari mereka. Tak lupa pula kepada teman-teman pengurus **DPK IPPMIMM Pamboang, LDF Mushalla Istiqamah BEM FMIPA UNHAS,** dan **UKM KPI Unhas** yang telah memberikan pengalaman berharga kepada penulis mengenai kelembagaan selama menempuh perkuliahan.

Akhirnya, saya juga mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis.

Makassar, 13 Januari 2025

Rafli Setiawan Nasir

## ABSTRAK

RAFLI SETIAWAN NASIR. **Penerapan Peta Kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* pada Data Kandungan pH Air Budidaya Ikan Lele di Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar** (dibimbing oleh Erna Tri Herdiani)

**Latar Belakang.** Kandungan pH air sangat penting bagi pertumbuhan ikan lele, karena ketidaksesuaian pH dapat mengganggu keseimbangan oksigen terlarut, sehingga menurunkan sistem kekebalan ikan. Monitoring pH air diperlukan untuk menjaga kondisi optimal ikan lele. Peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) sering digunakan untuk monitoring pH air, namun kelemahannya adalah tidak efektif pada data yang tidak berdistribusi normal. Untuk mengatasinya, peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* (REWMA) dapat digunakan, karena estimator *robust* mampu mengatasi penyimpangan distribusi normalitas dalam memantau pH air budidaya ikan lele. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk membentuk peta kendali REWMA dengan estimator *Interquartile Range* (IQR) dan *Biweight* pada data kandungan pH air budidaya ikan lele di Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar. **Metode.** Penelitian ini menerapkan peta kendali REWMA dengan estimator IQR dan *Biweight*. Nilai  $\lambda$  yang digunakan pada penelitian ini yakni 0,01, 0,25, 0,5, 0,75 dan 1 pada data kandungan pH air selama periode 28 Mei 2024 – 27 Juni 2024 yang menggunakan 10 sampel bak pembibitan. **Hasil.** Berdasarkan nilai *Average Run Length* (ARL) yang lebih kecil, maka diperoleh estimator yang lebih baik. Peta kendali REWMA dengan estimator IQR diperoleh nilai ARL 1 pada pergeseran 0,2 sedangkan estimator *Biweight* memiliki nilai ARL 1 pada pergeseran 0,5. Pembobot optimum estimator IQR adalah  $\lambda = 0,01$  menggunakan nilai parameter parameter  $\mu_0 = 7,8287$  dan  $\sigma = 0,039$  serta *Biweight* adalah  $\lambda = 0,01$  menggunakan nilai parameter parameter  $\mu_0 = 7,8287$  dan  $\sigma = 0,055$  **Kesimpulan.** Peta kendali REWMA dengan estimator IQR menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan *Biweight* dalam memantau kandungan pH air budidaya ikan lele karena mempunyai nilai ARL yang lebih kecil.

**Kata Kunci:** *Average Run Length*; *Robust Exponentially Weighted Moving Average*; peta kendali

## ABSTRACT

RAFLI SETIAWAN NASIR. **Application of Robust Exponentially Weighted Moving Average Control Map on Data of Water pH Content of Catfish Cultivation in Bina Bersama Fishery Group, Makassar City** (supervised by Erna Tri Herdiani)

**Background.** The pH content of water is very important for the growth of catfish, because pH mismatches can disrupt the balance of dissolved oxygen, thereby reducing the immune system of fish. Monitoring water pH is necessary to maintain optimal conditions for catfish. The Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) control map is often used for monitoring water pH, but its weakness is that it is not effective on data that is not normally distributed. To overcome this, the Robust Exponentially Weighted Moving Average (REWMA) control map can be used, because the robust estimator is able to overcome deviations from the normality distribution in monitoring the pH of catfish farming water. **Objective.** This study aims to form a REWMA control map with the Interquartile Range (IQR) and Biweight estimators on the pH content data of catfish farming water in the Bina Bersama Fisheries Group in Makassar City. **Methods.** This study applies the REWMA control map with IQR and Biweight estimators. The  $\lambda$  values used in this study are 0.01, 0.25, 0.5, 0.75 and 1 on water pH content data during the period 28 May 2024 - 27 June 2024 using 10 samples of nursery tanks. **Results.** Based on the smaller Average Run Length (ARL) value, a better estimator is obtained. The REWMA control map with the IQR estimator obtained an ARL value of 1 at a shift of 0.2 while the Biweight estimator had an ARL value of 1 at a shift of 0.5. The optimum weighting of IQR estimator is  $\lambda = 0.01$  using the parameter value of parameter  $\mu_0 = 7.8287$  and  $\sigma = 0.039$  and Biweight is  $\lambda = 0.01$  using the parameter value of parameter  $\mu_0 = 7.8287$  and  $\sigma = 0.055$ . **Conclusion.** REWMA control map with IQR estimator shows better performance than Biweight in monitoring the pH content of catfish farming water because it has a smaller ARL value.

**Keywords:** Average Run Length; control chart; Robust Exponentially Weighted Moving Average



## DAFTAR ISTILAH

Istilah	Arti dan Penjelasan
<i>Exponentially Weighted Moving Average</i>	Metode statistik yang memberikan bobot eksponensial lebih besar pada data terbaru dibandingkan data lama.
<i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i>	Varian robust dari EWMA yang tahan terhadap pencilan dan ketidaksesuaian distribusi normal.
<i>Median Absolute Deviation</i>	Ukuran penyebaran yang lebih tahan terhadap outliers, dihitung dari median data.
<i>Interquartile Range</i>	Selisih antara kuartil pertama (Q1) dan kuartil ketiga (Q3), digunakan untuk mengukur variabilitas data.
<i>Upper Control Limit</i>	Batas kendali atas yang digunakan dalam diagram kendali untuk mendeteksi keadaan out-of-control.
<i>Lower Control Limit</i>	Batas kendali bawah yang digunakan dalam diagram kendali untuk mendeteksi keadaan out-of-control.
<i>Center Line</i>	Garis tengah yang menggambarkan rata-rata proses dalam diagram kendali.
<i>Outliers</i>	Data yang menyimpang secara signifikan dari mayoritas pengamatan, sering kali mempengaruhi hasil analisis statistik.
<i>Average Run Length</i>	Rata-rata jumlah observasi yang diperlukan sebelum diagram kendali menunjukkan sinyal out-of-control.
<i>Kolmogorov-Smirnov Test</i>	Uji statistik untuk menentukan apakah sebuah sampel mengikuti distribusi tertentu (biasanya distribusi normal).
<i>Error Tipe I</i>	Kesalahan dalam statistik ketika hipotesis nol ditolak padahal sebenarnya benar (false positive).
<i>Error Tipe II</i>	Kesalahan dalam statistik ketika hipotesis nol diterima padahal sebenarnya salah (false negative).
<i>Biweight</i>	Fungsi robust yang memberikan bobot lebih kecil pada data yang jauh dari median, digunakan untuk menghitung estimasi robust.

## DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

Simbol/Singkatan	Arti dan Penjelasan
$Z_t$	Nilai EWMA pada waktu ke- $t$
$W_i$	Statistik plot REWMA dengan estimator IQR pada waktu ke- $i$
$Y_i$	Statistik plot REWMA dengan estimator <i>Biweight</i> pada waktu ke- $i$
$\bar{x}_{i-1}$	Rata-rata dari setiap sampel pada waktu ke- $i$
$\bar{x}_{i-1}$	Rata-rata setiap sampel pada waktu sebelumnya
$X_{ij}$	Karakteristik kualitas yang diamati pada waktu ke- $i$ dan sampel ke- $j$
$\alpha$	Probabilitas kesalahan ( <i>error</i> ) tipe I
$\beta$	Probabilitas kesalahan ( <i>error</i> ) tipe II
$D_n$	Statistik uji Kolmogorov-Smirnov
$H_0$	Hipotesis nol
$H_1$	Hipotesis alternatif
$E$	Ekspektasi/nilai harapan
$Var$	Variansi
$\mu$	Rata-rata atau <i>mean</i>
$\hat{\mu}$	Penduga bagi $\mu$
$\sigma$	Standar deviasi
$\hat{\sigma}$	Penduga bagi $\sigma$
$\sigma^2$	Ragam atau variansi
$i$	Pengamatan ke- $i$ dengan $i = 1,2,3, \dots, n$
$j$	Sampel $j$ dengan $j = 1,2,3, \dots, m$
$k$	Nilai pergeseran proses
$L$	Jarak antar batas-batas kendali dari garis tengah
$\lambda$	Pembobot
$m$	Banyak sampel
$n$	Banyak pengamatan
$Pr$	Probabilitas
$\Phi$	Fungsi distribusi kumulatif normal standar
$d_n$	Faktor koreksi
pH	<i>Potential of Hydrogen</i>
EWMA	<i>Exponentially Weighted Moving Average</i>
REWMA	<i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i>
IQR	<i>Interquartile Range</i>
UCL	<i>Upper Control Limit</i>
LCL	<i>Lower Control Limit</i>
CL	<i>Center Line</i>
ARL	<i>Average Run Length</i>

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERNYATAAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	viii
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Batasan Masalah.....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat .....	4
1.4 Teori .....	4
1.4.1 Pengendalian Kualitas Statistik.....	4
1.4.2 Peta Kendali.....	5
1.4.3 Uji Normalitas.....	6
1.4.4 Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> .....	6
1.4.5 Peta Kendali <i>Robust Exponentially Moving Average</i> .....	8
1.4.6 <i>Average Run Length</i> .....	10
1.4.7 Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar .....	11
1.4.8 Pengendalian pH Air Budidaya Ikan Lele .....	12
<b>BAB II METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>13</b>
2.1 Sumber Data .....	13
2.2 Variabel Penelitian .....	13
2.3 Struktur Data .....	13
2.4 Metode Analisis .....	13
<b>BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>15</b>
3.1 Teoritis Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i> .....	15
3.1.1 Teoritis Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i> dengan Estimator IQR.....	17
3.1.2 Teoritis Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i> dengan Estimator <i>Biweight</i> .....	20
3.2 Uji Normalitas .....	24
3.3 Praktis Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i> .....	25
3.3.1 Praktis Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i> dengan Estimator IQR .....	25
3.3.2 Praktis Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i> dengan Estimator <i>Biweight</i> .....	32

3.4	Kinerja Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i> Berdasarkan Nilai <i>Average Run Length</i> .....	39
3.4.1	Kinerja Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i> dengan Estimator IQR Berdasarkan Nilai <i>Average Run Length</i> .....	39
3.4.2	Kinerja Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted Moving Average</i> dengan Estimator <i>Biweight</i> Berdasarkan Nilai <i>Average Run Length</i> .....	42
3.4.3	Perbandingan Kinerja Peta Kendali <i>Robust Exponentially Weighted</i> <i>Moving Average</i> Berdasarkan Nilai <i>Average Run Length</i> .....	45
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>47</b>
4.1	Kesimpulan.....	47
4.2	Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>49</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>52</b>

**DAFTAR TABEL**

<b>Nomor Urut</b>	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 1.</b> Struktur Data Penelitian.....	13
<b>Tabel 2.</b> Uji Kolmogorov-Smirnov.....	25
<b>Tabel 3.</b> Nilai ARL Peta Kendali REWMA dengan Estimator IQR .....	41
<b>Tabel 4.</b> Nilai ARL Peta Kendali REWMA dengan Estimator <i>Biweight</i> .....	44

## DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
<b>Gambar 1.</b> Usaha Budidaya Ikan Lele Kelompok Perikanan Bina Bersama di Bumi Tamalanrea Permai, Kota Makassar .....	11
<b>Gambar 2.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator IQR untuk $\lambda = 0,01$ .....	26
<b>Gambar 3.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator IQR untuk $\lambda = 0,25$ .....	28
<b>Gambar 4.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator IQR untuk $\lambda = 0,5$ .....	29
<b>Gambar 5.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator IQR untuk $\lambda = 0,75$ .....	30
<b>Gambar 6.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator IQR untuk $\lambda = 1$ .....	32
<b>Gambar 7.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator <i>Biweight</i> untuk $\lambda = 0,01$ .....	33
<b>Gambar 8.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator <i>Biweight</i> untuk $\lambda = 0,25$ .....	35
<b>Gambar 9.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator <i>Biweight</i> untuk $\lambda = 0,5$ .....	36
<b>Gambar 10.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator <i>Biweight</i> untuk $\lambda = 0,75$ .....	37
<b>Gambar 11.</b> Peta Kendali REWMA dengan Estimator <i>Biweight</i> untuk $\lambda = 1$ .....	39
<b>Gambar 12.</b> Nilai ARL Peta Kendali REWMA dengan Estimator IQR .....	42
<b>Gambar 13.</b> Nilai ARL Peta Kendali REWMA dengan Estimator <i>Biweight</i> .....	45
<b>Gambar 14.</b> Perbandingan Nilai ARL Optimum Estimator IQR dan <i>Biweight</i> .....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
<b>Lampiran 1.</b> Data Kandungan pH Air Budidaya Ikan Lele di Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar .....	53
<b>Lampiran 2.</b> Nilai $x_i$ , dan IQR untuk Setiap Subgrup Pengamatan .....	54
<b>Lampiran 3.</b> Nilai $x_i$ , Median, MAD, dan <i>Biweight</i> untuk Setiap Subgrup Pengamatan .....	55
<b>Lampiran 4.</b> Titik Plot, UCL, LCL, CL, dan $W_i$ Peta Kendali REWMA dengan estimator IQR .....	56
<b>Lampiran 5.</b> Titik Plot, UCL, LCL, CL, dan $Y_i$ Peta Kendali REWMA dengan estimator <i>Biweight</i> .....	59
<b>Lampiran 6.</b> Perhitungan Nilai ARL REWMA dengan Estimator IQR.....	62
<b>Lampiran 7.</b> Perhitungan Nilai ARL REWMA dengan Estimator <i>Biweight</i> .....	66
<b>Lampiran 8.</b> Riwayat Hidup Penulis.....	71

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kualitas proses menjadi salah satu faktor utama dalam menentukan daya saing bisnis global saat ini. Penerapan *Total Quality Management* (TQM) berperan penting dalam menjaga standar kualitas yang memuaskan bagi pelanggan, sekaligus meningkatkan produktivitas serta loyalitas (Yusmar dkk., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kualitas berbanding lurus dengan performa perusahaan, yang secara langsung mendorong kepuasan pelanggan (Burgess dkk., 2023). Upaya strategis dalam menjaga kualitas melibatkan berbagai metode pengendalian, salah satunya adalah pengendalian kualitas statistik yang secara luas digunakan untuk memantau atau mendeteksi produk cacat melalui alat statistik seperti peta kendali (Purwanto dkk., 2022). Salah satu jenis peta kendali yang paling umum digunakan adalah peta kendali *Shewhart* yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan besar dalam proses (Mubarak dan Fauziyah, 2023). Namun dalam banyak kasus, perubahan kecil sering kali terjadi dalam rata-rata proses yang tidak mampu ditangani oleh peta kendali *Shewhart* karena metode tersebut kurang sensitif. Salah satu metode yang mampu menangani permasalahan tersebut adalah peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA). Peta kendali EWMA mampu mendeteksi perubahan kecil secara bertahap lebih cepat, dibandingkan dengan peta kendali *Shewhart* melalui penggunaan rata-rata berbobot eksponensial antara data saat ini dan sebelumnya (Imran dkk., 2023). Metode ini diakui dalam pemantauan proses, karena keunggulannya dalam mendeteksi perubahan kecil dalam parameter proses secara sensitif dan cepat. Meski demikian, peta kendali EWMA memiliki keterbatasan dalam menghadapi data yang dipengaruhi oleh pencilan (*outliers*) atau penyimpangan dari distribusi normal pada data.

Keterbatasan dari peta kendali EWMA dapat menyebabkan upaya pengendalian kualitas menjadi tidak optimal karena peta kendali EWMA bergantung pada asumsi tersebut. Dalam praktik nyata, terutama di lingkungan industri, data sering kali mengandung pencilan atau memiliki distribusi yang kompleks, sehingga mengurangi keakuratan identifikasi perubahan proses (Zwetsloot, 2016). Oleh karena itu, metode yang lebih tahan terhadap pencilan dan fleksibel terhadap distribusi data yang tidak normal menjadi sangat diperlukan. Salah satu metode yang dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan ini adalah peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* (REWMA). Metode REWMA dirancang secara khusus untuk menangani data dengan distribusi yang tidak normal atau yang terkontaminasi oleh pencilan. Metode tersebut tetap menggunakan konsep EWMA dalam perhitungannya, sehingga tetap mempertahankan struktur perhitungan berbasis bobot eksponensial, tetapi dengan penyesuaian terhadap penggunaan estimator *robust* untuk meningkatkan ketahanan terhadap *outlier* dan memastikan hasil yang lebih akurat dalam kondisi data yang tidak normal. Keunggulannya terletak pada kemampuan menangani pencilan tanpa harus menghilangkan data tersebut, sehingga menghasilkan analisis yang lebih akurat dalam proses monitoring. Dalam



REWMA, pemilihan estimator *robust* menjadi aspek penting karena estimator ini dirancang untuk mengurangi sensitivitas terhadap pencilan. Terdapat berbagai jenis estimator *robust* yang dapat digunakan, tetapi *Interquartile Range* (IQR) dan *Biweight* sering menjadi pilihan utama. Estimator IQR efektif digunakan pada data dengan tingkat pencilan yang moderat (*one wild*) atau distribusi data yang relatif mendekati normal. Sementara itu, estimator *Biweight* lebih cocok untuk data dengan pencilan yang signifikan (*slash*) atau data dengan distribusi yang sangat bervariasi (Razalee dkk., 2021). Pemilihan IQR dan *Biweight* sebagai estimator pada penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk menangani tantangan distribusi data yang umum terjadi di lingkungan industri. Estimator IQR mampu digunakan dalam situasi dengan tingkat pencilan yang tidak terlalu tinggi (*one wild*) atau distribusi data mendekati normal. Sedangkan estimator *Biweight* cocok terhadap distribusi data yang sangat bervariasi atau data dengan pencilan yang signifikan (*slash*). Pemilihan ini mempertimbangkan fleksibilitas dan efektivitas kedua estimator dalam mengoptimalkan performa peta kendali REWMA terhadap data yang tidak normal.

Pengendalian kualitas statistik telah diaplikasikan secara luas dalam bidang industri, kesehatan, maupun jasa (Mashuri dkk., 2022). Salah satu contoh pengendalian kualitas statistik dari bidang kesehatan adalah pengendalian pH air. Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi semua makhluk hidup, termasuk ikan yang menjadi salah satu komoditas pangan utama bagi masyarakat. Jenis ikan yang sering dikonsumsi, salah satunya adalah ikan lele, yang menjadi komoditas pangan populer dan diminati. Dalam pembudidayaannya, perhatian khusus perlu diberikan pada kandungan pH air karena pH air memainkan peran vital dalam menunjang kesehatan dan pertumbuhan ikan lele (Fitriana & Mufida, 2024). Kualitas pH air secara langsung menentukan kondisi kesehatan, kualitas hasil panen, dan produktivitas budidaya ikan lele. Kandungan pH yang tidak sesuai dapat menimbulkan berbagai masalah, seperti mengganggu kesehatan ikan, menghambat pertumbuhan, hingga menurunkan produktivitas. Ketidakseimbangan pH baik yang terlalu rendah (bersifat asam) maupun terlalu tinggi (bersifat basa) dapat menyebabkan stres fisiologis pada ikan lele, merusak lapisan lendir pelindung, mengganggu sistem pernapasan, serta memengaruhi efisiensi metabolisme. Kondisi pH yang ekstrem juga dapat meningkatkan toksisitas zat seperti amonia dan menghambat aktivitas enzim vital yang diperlukan untuk pencernaan dan pertumbuhan. Oleh karena itu, menjaga kestabilan pH air menjadi hal yang sangat penting untuk memastikan ikan tetap sehat, tumbuh optimal, dan memiliki daya tahan terhadap penyakit. Dalam konteks ini, kelompok Perikanan Bina Bersama yang berlokasi di Bumi Tamalanrea Permai (BTP) Kota Makassar menjadi salah satu usaha yang mengembangbiakkan ikan lele sebagai komoditas pangan. Ikan lele hasil budidaya mereka dipasarkan ke beberapa usaha makanan di Makassar, sehingga penelitian mengenai pengendalian pH air di lokasi ini menjadi sangat relevan untuk mendukung keberlanjutan dan kualitas hasil produksi.

Terdapat beberapa penelitian mengenai peta kendali REWMA yang telah dilakukan. Prabawani dkk. (2020) meneliti robustitas peta kendali REWMA terhadap ketidaknormalan distribusi data yang menemukan bahwa peta kendali REWMA

memiliki performa yang tahan terhadap adanya *outlier* dan peka terhadap pergeseran proses yang bersifat variabilitas. Penelitian selanjutnya dari Saeed dan Kamal (2016) yang menganalisis performa peta kendali REWMA dengan beberapa estimator *robust* pada data yang tidak berdistribusi normal dan menemukan bahwa estimator-estimator *robust* tersebut memberikan hasil lebih baik dalam mendeteksi sinyal *out-of-control*. Studi yang dilakukan oleh Razalee dkk. (2021) mengembangkan estimator peta kendali REWMA, yang hasilnya menyatakan bahwa peta kendali REWMA dengan estimator *Biweight* sangat efektif dalam mendeteksi data *out of control* dengan waktu yang relatif lebih cepat. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, terbukti bahwa metode peta kendali REWMA sangat baik dan efisien untuk digunakan pada data yang tidak berdistribusi normal, menjadikannya metode yang unggul dalam pengendalian kualitas industri dengan kondisi data yang kompleks.

Berdasarkan pembahasan mengenai pentingnya pengendalian kualitas dan keunggulan metode *robust* dalam meningkatkan performa proses produksi, maka perlu dilakukan penelitian mengenai penerapan metode peta kendali REWMA. Data kandungan pH air pada kolam budidaya ikan lele dipilih karena karakteristiknya yang memiliki variabilitas tinggi dan sering mengandung pencilan akibat pengaruh faktor eksternal, seperti perubahan cuaca, kualitas air baku, atau pencemaran lingkungan. Variasi tersebut membuat metode seperti peta kendali EWMA biasa kurang mampu mendeteksi perubahan kualitas air secara konsisten dan akurat. Sebagai salah satu parameter kunci dalam budidaya ikan lele, pH air sangat memengaruhi kesehatan, pertumbuhan, serta produktivitas ikan, sehingga pengendalian pH yang optimal sangat diperlukan untuk menjaga keberlanjutan dan kualitas produksi. Melalui penerapan metode REWMA, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan pengolahan data pH yang tidak normal atau mengandung pencilan dengan memberikan informasi yang lebih akurat dan relevan dalam monitoring kualitas air di kolam budidaya Kelompok Perikanan Bina Bersama, Kota Makassar. Dengan fleksibilitas dan keunggulannya dalam menangani pencilan, metode REWMA diharapkan dapat mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih baik, terutama dalam menjaga stabilitas pH air guna mendukung keberhasilan budidaya ikan lele.

## 1.2 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini terbatas pada beberapa hal yakni sebagai berikut:

1. Estimator *robust* yang digunakan pada peta kendali REWMA adalah *Interquartile Range* (IQR) dan *Biweight*.
2. Nilai parameter pembobot peta kendali REWMA yang digunakan pada penelitian ini yakni,  $\lambda = 0,01, 0,25, 0,5, 0,75, \text{ dan } 1$ .
3. Nilai konstanta batas kendali peta kendali REWMA yang digunakan pada penelitian ini adalah  $L = 3$ .
4. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data univariat dengan variabel penelitian yakni pH air budidaya ikan lele di Kelompok Perikanan Bina

Bersama Kota Makassar yang pengamatannya dibatasi selama periode 28 Mei 2024 – 27 Juni 2024.

### 1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Membentuk peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average*, dengan estimator IQR dan *Biweight*.
2. Memperoleh hasil kinerja peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average*, dengan estimator IQR dan *Biweight* berdasarkan nilai ARL kemudian membandingkannya.
3. Menerapkan metode peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average*, dengan estimator IQR dan *Biweight* pada data kandungan pH air budidaya ikan lele di Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar.

Manfaat yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengendalian kualitas statistik dengan menggunakan peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* untuk memastikan pH air kolam budidaya ikan lele di Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar berada dalam keadaan terkendali.
2. Penelitian ini dapat menjadi dasar pengambilan keputusan bagi Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar dalam menerapkan langkah-langkah perbaikan apabila terjadi penyimpangan kualitas pH air, sehingga dapat meningkatkan produktivitas budidaya ikan lele.

### 1.4 Teori

#### 1.4.1 Pengendalian Kualitas Statistik

Pengendalian Kualitas Statistik adalah metode yang digunakan untuk memantau dan mengendalikan kualitas dalam proses produksi dengan menggunakan teknik statistik. Metode ini berfokus pada pengumpulan, pengolahan, dan analisis data secara sistematis untuk memastikan bahwa proses produksi menghasilkan produk sesuai standar kualitas yang telah ditetapkan. Pengendalian Kualitas Statistik dalam dunia perusahaan dapat meminimalkan variasi dalam proses sehingga menjaga konsistensi hasil produksi. Data yang dikumpulkan melalui metode ini memberikan wawasan yang akurat mengenai kondisi produksi, serta membantu mendeteksi masalah potensial sebelum mereka berkembang menjadi masalah yang lebih besar (Nurfauzi dkk., 2023).

Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas pengendalian kualitas statistik mencakup kualitas bahan baku, keandalan teknologi yang digunakan, keterampilan tenaga kerja, serta efektivitas manajemen dalam mengintegrasikan berbagai elemen produksi. Selain faktor internal, faktor eksternal seperti perubahan kebutuhan konsumen dan peningkatan persaingan juga menjadi penggerak penting dalam pengelolaan kualitas. Kolaborasi antara manajemen dan karyawan dalam mengaplikasikan metode pengendalian Kualitas Statistik berperan krusial dalam

menjaga keselarasan operasional sehingga kualitas produk dapat terus ditingkatkan secara konsisten (Olayiwola dkk., 2024).

Tujuan utama dari pengendalian kualitas statistik adalah untuk mengurangi variasi dalam proses produksi, yang pada gilirannya akan meningkatkan efisiensi dan kualitas produk. Pengurangan cacat dalam produksi juga diharapkan dapat memperbaiki efisiensi biaya dan meningkatkan profitabilitas perusahaan. Selain itu, dengan adanya pengendalian kualitas yang baik perusahaan dapat memastikan bahwa produk yang dihasilkan tidak hanya memenuhi standar minimum, tetapi juga sesuai atau melampaui harapan pelanggan. Pengendalian kualitas ini memainkan peran penting dalam menjaga kepuasan pelanggan dan daya saing di pasar (Nazia dkk., 2023).

Salah satu dari tujuh alat statistik dalam penerapan pengendalian kualitas statistik yang sering digunakan adalah peta kendali (*control chart*). Alat statistik ini sangat penting karena dapat membantu perusahaan dalam memantau proses produksi secara *real-time* dan mendeteksi adanya variasi yang tidak diinginkan. Selain peta kendali, alat statistik lain yang sering digunakan adalah histogram, diagram pareto, diagram sebab-akibat, diagram sebar, diagram alir, dan *check sheet*. Alat-alat statistik ini dirancang untuk membantu identifikasi dan analisis masalah kualitas dengan lebih sistematis, sehingga memungkinkan perusahaan untuk mengambil tindakan korektif secara cepat dan efektif (Montgomery, 2012).

#### **1.4.2 Peta Kendali**

Peta kendali pertama kali dikembangkan oleh Walter A. Shewhart pada tahun 1924 saat bekerja di Bell Telephone Laboratories. Temuannya dalam memantau proses produksi menggunakan grafik statistik menjadi landasan bagi metode *quality control* yang dikenal dengan *Statistical Process Control* (SPC). Melalui peta kendali, Shewhart berupaya mengidentifikasi dan mengurangi variasi dalam proses, yang pada akhirnya membantu meningkatkan efisiensi serta kualitas produk. Seiring berjalannya waktu, metode ini telah mengalami perkembangan signifikan dan diterapkan secara luas dalam berbagai sektor industri untuk menjaga stabilitas serta konsistensi proses produksi. Penerapan SPC yang didasari pada prinsip dasar peta kendali terus berevolusi sebagai alat yang kritis dalam manajemen kualitas modern (Guarnieri dkk., 2019).

Secara konsep, peta kendali didefinisikan sebagai alat statistik yang digunakan untuk memantau kinerja suatu proses berdasarkan pengukuran variabel tertentu seperti rata-rata atau variansi. Tujuan utamanya adalah untuk mengidentifikasi variasi proses yang bersifat acak (*common cause*) dan yang dapat ditentukan penyebabnya (*assignable cause*). Oleh sebab itu, peta kendali memfasilitasi identifikasi masalah dalam proses dan memungkinkan penerapan tindakan korektif sebelum masalah tersebut berkembang lebih jauh. Alat statistik ini tidak hanya membantu dalam mempertahankan kualitas produk, tetapi juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi operasional dengan mengurangi variasi yang tidak diinginkan (Montgomery, 2012).

Peta kendali dalam penerapannya menggunakan rumus-rumus tertentu untuk menetapkan batas kendali *Upper Control Limit* (UCL), *Lower Control Limit* (LCL), dan *Center Line* (CL). Rumus yang umum digunakan dalam menghitung batas kendali adalah sebagai berikut:

$$UCL = \mu_w + L\sigma_w \quad (1)$$

$$CL = \mu_w \quad (2)$$

$$LCL = \mu_w - L\sigma_w \quad (3)$$

dengan:

UCL : *Upper Control Limit*

LCL : *Lower Control Limit*

CL : *Center Line*

$\mu$  : *mean*

$\sigma$  : *standard deviation*

$w$  : *measures*

### 1.4.3 Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan tahap penting dalam analisis statistik untuk menentukan apakah data mengikuti distribusi normal. Salah satu metode yang sering digunakan adalah uji Kolmogorov-Smirnov yang membandingkan distribusi kumulatif empiris dari sampel dengan distribusi kumulatif teoritis. Uji ini didasarkan pada perbedaan maksimum antara distribusi kumulatif sampel dan distribusi yang dihipotesiskan, seperti dijelaskan oleh Kolmogorov dalam makalah pentingnya pada tahun 1933 (Kolmogorov, 1992).

Statistik yang digunakan dalam uji ini adalah  $D_n$ , yang dihitung sebagai nilai maksimum dari selisih absolut antara distribusi kumulatif empiris ( $S_n(x)$ ) dan distribusi kumulatif teoritis ( $F_0(x)$ ) dengan nilai  $D_n$  kemudian dibandingkan dengan nilai kritis untuk menentukan apakah data berasal dari distribusi yang dihipotesiskan (Facchinetti, 2009). Jika  $D_n$  lebih besar dari nilai kritis, maka hipotesis nol yang menyatakan bahwa data mengikuti distribusi normal akan ditolak (Usmadi, 2020). Rumus yang digunakan dalam uji Kolmogorov-Smirnov adalah sebagai berikut:

$$D_n = \sup_{-\infty < x < \infty} |S_n(x) - F_0(x)| \quad (4)$$

dengan:

$S_n(x)$  : distribusi kumulatif empiris dari sampel.

$F_0(x)$  : distribusi kumulatif teoritis yang dihipotesiskan.

$D_n$  : statistik uji yang merepresentasikan selisih maksimum.

### 1.4.4 Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average*

*Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) merupakan alat pengendalian kualitas yang sangat efektif dalam mendeteksi pergeseran kecil dalam proses produksi. Metode ini memberikan bobot lebih besar pada observasi terbaru, tetapi tetap memperhitungkan data historis dengan bobot yang semakin kecil seiring waktu.

Hal ini membuat EWMA menjadi lebih sensitif terhadap perubahan kecil dibandingkan dengan metode peta kendali *Shewhart*, yang kurang efektif dalam menangkap pergeseran kecil (Maravelakis dkk., 2010). Secara matematis, nilai statistik EWMA pada waktu ke- $i$  dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda)Z_{i-1} \quad (5)$$

Nilai  $Z_i$  adalah nilai EWMA pada waktu  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , dengan  $n$  adalah banyaknya subgrup,  $\lambda$  adalah parameter *smoothing* dengan nilai  $0 < \lambda \leq 1$ , dan  $X_i$  adalah data observasi pada waktu ke- $i$ . Nilai  $Z_0$  atau nilai awal sering kali ditetapkan sama dengan rata-rata proses atau nilai yang diinginkan, yaitu  $\mu_0$ . Besarnya  $\lambda$  menentukan seberapa besar bobot yang diberikan pada data terbaru. Semakin kecil  $\lambda$ , maka semakin kecil kontribusi data masa lalu terhadap nilai EWMA saat ini.

Selanjutnya dapat diketahui rata-rata dan variansi dari EWMA yang dapat mempengaruhi batas kontrol yang digunakan dalam pengawasan proses. Rata-rata dan variansi ini akan menentukan seberapa jauh pengamatan dapat menyimpang dari rata-rata proses sebelum dianggap sebagai sinyal adanya pergeseran yang signifikan dalam proses tersebut. Adapun persamaan-persamaannya dapat dilihat sebagai berikut:

$$E(Z_i) = \mu_0 \quad (6)$$

dan

$$Var(Z_i) = \sigma^2 \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2i}) \quad (7)$$

Sehingga berdasarkan nilai rata-rata dan variansi di atas, EWMA memiliki *Center Line* (CL), *Upper Control Limit* (UCL), *Lower Control Limit* (LCL) untuk mendeteksi kondisi *out-of-control*. Batas kontrol ini bergantung pada nilai rata-rata dan variansi EWMA, seperti persamaan berikut:

$$UCL = \mu_0 + L\sqrt{Var(Z_i)} = \mu_0 + L\sqrt{\sigma^2 \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2i})} \quad (8)$$

$$CL = \mu_0 \quad (9)$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{Var(Z_i)} = \mu_0 - L\sqrt{\sigma^2 \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2i})} \quad (10)$$

dengan:

- $\mu_0$  : rata-rata proses
- $\sigma$  : standar deviasi proses
- $L$  : nilai konstanta batas kendali

Rumus ini memperhitungkan perubahan variansi EWMA dari waktu ke waktu. Namun setelah pengamatan berlangsung cukup lama, batas kontrol ini akan mencapai nilai tetap atau asimtotik yang diberikan oleh:

$$UCL = \mu_0 + L \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}} \quad (11)$$

$$CL = \mu_0 \quad (12)$$

$$LCL = \mu_0 - L \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}} \quad (13)$$

Batas kontrol yang stabil dan tidak lagi berubah dalam kondisi asimtotik, mencerminkan kemampuan EWMA untuk mendeteksi pergeseran kecil setelah periode pemantauan yang cukup panjang. Sehingga dengan menggunakan rumus-rumus ini, peta kendali EWMA memberikan kemampuan yang lebih baik dalam mendeteksi perubahan kecil dalam proses, membuatnya sangat berguna di lingkungan industri yang membutuhkan deteksi pergeseran parameter kualitas yang halus (Montgomery, 2012).

#### 1.4.5 Peta Kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average*

Estimator *robust* adalah salah satu pendekatan statistik yang umum digunakan saat asumsi distribusi normalitas tidak terpenuhi. Estimator ini menjadi alternatif yang lebih baik dari metode peta kendali tradisional lainnya. Metode ini mampu menghasilkan hasil yang lebih akurat dengan peningkatan kekuatan statistik serta sensitivitas yang tinggi, namun tetap efisien jika asumsi normalitas terpenuhi (Abu-Shawiesh, 2008).

##### 1.4.5.1 Peta Kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* dengan Estimator IQR

Estimator IQR merupakan ukuran variabilitas yang didasarkan pada pemisahan data menjadi kuartil. Kuartil ini membagi data yang telah diurutkan dalam rentang tertentu menjadi tiga bagian yang sama besar. Nilai-nilai yang memisahkan setiap bagian tersebut disebut sebagai  $Q_1$ ,  $Q_2$ , dan  $Q_3$ . Persamaan IQR dapat didefinisikan sebagai berikut (Khoo dan Sim, 2006):

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (14)$$

dengan:

$Q_3$  : kuartil ke-3

$Q_1$  : kuartil ke-1

Nilai  $Q_3$  dan  $Q_1$  diperoleh dengan menyelesaikan integral  $0.75 = \int_{-\infty}^{Q_3} f(x)dx$  dan  $0.25 = \int_{-\infty}^{Q_1} f(x)dx$ . Kemudian, untuk penduga nilai  $\sigma$  yang tak bias dari IQR

adalah  $\hat{\sigma} = \frac{\overline{IQR}}{d_n}$  dengan  $\overline{IQR} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n IQR_i$  dan  $d_n$  merupakan faktor koreksi untuk sampel  $n$  dengan  $d_n = 1,3121$  (Khoo dan Sim, 2006). Nilai UCL, CL, LCL, dan Statistik  $W_i$  untuk peta kendali *Robust Exponentially Moving Average* dengan menggunakan estimator IQR dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$UCL = \mu_0 + L \frac{\overline{IQR}}{d_n \sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}} \quad (15)$$

$$CL = W_0 = \mu_0 \quad (16)$$

$$LCL = \mu_0 - L \frac{\overline{IQR}}{d_n \sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}} \quad (17)$$

$$W_i = \lambda \bar{X}_i + (1 - \lambda) W_{i-1} \quad (18)$$

dengan:

- $W_i$  : statistik plot peta kendali REWMA estimator IQR pada waktu ke- $i$
- $\lambda$  : parameter penghalus
- $\bar{X}_i$  : rata-rata sampel pada waktu ke- $i$
- $W_{i-1}$  : statistik plot peta kendali REWMA estimator IQR pada waktu sebelumnya

#### 1.4.5.2 Peta Kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* dengan Estimator *Biweight*

Estimator *Biweight* merupakan jenis estimator M-estimate yang mengurangi pengaruh data pencilan dengan memberikan bobot lebih kecil pada observasi yang jauh dari pusat distribusi (Razalee dkk., 2021). Estimator ini menggunakan fungsi bobot *bisquare*, yang memberikan bobot nol kepada nilai-nilai yang berada di luar rentang tertentu. Langkah ini membuat estimator *biweight* secara efektif mengabaikan pengaruh dari *outlier*, karena nilai-nilai yang jauh dari estimasi lokasi tidak berkontribusi pada perhitungan. Proses perhitungan estimator *biweight* dilakukan secara iteratif yang dimulai dengan estimasi awal (sering kali median), kemudian dilakukan pembaruan berdasarkan bobot yang dihitung dari data (Kafadar, 1982). Persamaan untuk estimator *Biweight* ditunjukkan sebagai berikut (Razalee dkk., 2021):

$$Biweight_i = \frac{n}{\sqrt{n-1}} \frac{\sqrt{\sum_{|U_i| < 1} (x_j - T_i)^2 (1 - U_i^2)^4}}{|\sum_{|U_i| < 1} (x_j - U_i^2) (1 - 5U_i^2)|} \quad (19)$$

dengan  $U_i$  diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$U_i = (x_j - T_i) / (c \cdot MAD_i) \quad (20)$$



dengan  $x_j$  merupakan sampel ke- $j$ ,  $T_i$  adalah median sampel pada waktu ke- $i$ , Nilai  $c$  merupakan konstanta skala dengan  $c = 9$  dan MAD merupakan (*Median Absolut Deviation*) yang diperoleh dari persamaan berikut (Lax, 1985):

$$MAD_i = 1,4826 [Median|x_{i,j} - Median(x_{i,j})|] \quad (21)$$

Kemudian, untuk penduga nilai  $\sigma$  yang tak bias dari *Biweight* adalah  $\hat{\sigma} = \overline{Biweight}$ . Nilai UCL, LCL, CL, dan statistik  $Y_i$  peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* dengan menggunakan estimator *Biweight* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$UCL = \mu_0 + L \frac{\overline{Biweight}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \quad (22)$$

$$CL = W_0 = \mu_0 \quad (23)$$

$$LCL = \mu_0 - L \frac{\overline{Biweight}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \quad (24)$$

$$Y_i = \lambda \bar{X}_i + (1-\lambda)Y_{i-1} \quad (25)$$

dengan:

$Y_i$  : statistik plot peta kendali REWMA estimator *Biweight* pada waktu ke- $i$

$\lambda$  : parameter penghalus

$\bar{X}_i$  : rata-rata sampel pada waktu ke- $i$

$Y_{i-1}$  : statistik plot peta kendali REWMA estimator IQR pada waktu sebelumnya

#### 1.4.6 Average Run Length

*Average Run Length* (ARL) adalah rata-rata jumlah sampel yang diperlukan hingga sebuah diagram kendali memberikan sinyal *out-of-control*. ARL menjadi ukuran penting dalam menilai kinerja diagram kendali statistik, karena semakin cepat suatu perubahan terdeteksi, semakin efektif diagram kendali tersebut dalam mengurangi kesalahan proses. ARL digunakan untuk menilai performa dalam mendeteksi deviasi kecil pada parameter proses dengan mempertahankan keseimbangan antara sensitivitas deteksi dan tingkat *false alarm*. Selain itu, ARL memungkinkan evaluasi ketahanan diagram kendali terhadap distribusi yang tidak biasa, terutama untuk industri yang sangat bergantung pada pengendalian kualitas (Montgomery, 2012).

Terdapat 2 jenis ARL, yakni notasi  $ARL_0$  untuk keadaan *in control* dan  $ARL_1$  untuk keadaan *out of control* yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$ARL_0 = \frac{1}{P(\text{tolak } H_0 | H_0 \text{ benar})} = \frac{1}{\alpha} \quad (26)$$

$$ARL_1 = \frac{1}{P(\text{terima } H_0 | H_0 \text{ benar})} = \frac{1}{1-\beta} \quad (27)$$

dengan:

$\alpha$  : error tipe I

$\beta$  : error tipe II

Adapun definisi dari nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kesalahan tipe I atau ( $\alpha$ ) yakni menolak  $H_0$  padahal hipotesis tersebut benar yang berarti bahwa proses berada pada kondisi yang tidak terkendali padahal kenyataannya prosesnya dalam keadaan terkendali.
2. Kesalahan tipe II atau ( $\beta$ ) yakni menerima  $H_0$  padahal hipotesis tersebut salah yang berarti bahwa proses berada pada kondisi yang terkendali padahal kenyataannya prosesnya dalam keadaan tidak terkendali.

Umumnya, terdapat tiga prosedur yang digunakan untuk mendapatkan distribusi *run length* dari grafik EWMA dengan atau tanpa mengasumsikan parameter estimasi yakni diantaranya, Persamaan Integral, Pendekatan *Markov Chain*, dan Simulasi *Monte-Carlo* (Khoo dkk., 2016).

#### 1.4.7 Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar

Kelompok Perikanan Bina Bersama yang berlokasi di Bumi Tamalanrea Permai Kota Makassar merupakan salah satu usaha yang bergerak di bidang budidaya ikan lele. Kelompok Perikanan ini merupakan salah satu usaha budidaya ikan lele yang tumbuh pesat sejak berdiri pada tahun 2019. Setiap bulannya, kelompok ini mampu memproduksi lebih dari 1 ton ikan lele, yang berperan penting dalam pemenuhan permintaan ikan di Makassar. Awalnya kelompok ini hanya memanen sekitar 100 kilogram ikan lele setiap dua bulan, namun seiring waktu dan bimbingan dari Dinas Perikanan, produksi mereka kini telah mencapai lebih dari 1 ton per bulan. Usaha ini beranggotakan 17 orang pekerja yang telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pemenuhan permintaan ikan di Makassar, yang setiap bulannya mencapai 40.000 ton. Meski demikian, kebutuhan tersebut belum sepenuhnya terpenuhi, sehingga usaha budidaya ikan lele seperti Bina Bersama masih memiliki peluang besar untuk berkembang.



**Gambar 1.** Usaha Budidaya Ikan Lele Kelompok Perikanan Bina Bersama di Bumi Tamalanrea Permai, Kota Makassar

#### **1.4.8 Pengendalian pH Air Budidaya Ikan Lele**

Pengendalian pH air dalam budidaya ikan lele merupakan salah satu faktor kunci yang mempengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan. Air yang terlalu asam atau basa dapat mengganggu sistem pernapasan ikan lele, terutama pada insang, yang mengakibatkan penggumpalan lendir sehingga ikan kesulitan bernapas. Kondisi ini sering ditemukan jika pH air berada di bawah 6, yang sangat merugikan ikan lele (Nurhidayat, 2020). Selain itu, jika pH air terlalu tinggi di atas 8, ikan lele akan menunjukkan penurunan nafsu makan yang signifikan, yang berdampak langsung pada pertumbuhan dan kesehatan ikan secara keseluruhan (Umam dkk., 2023). Oleh karena itu, menjaga stabilitas pH antara 6 hingga 8 sangat penting untuk menciptakan lingkungan optimal bagi ikan lele (Hermansyah dkk., 2017).

Selain berdampak pada kesehatan ikan, pH air juga mempengaruhi produktivitas dalam budidaya ikan lele. Air dengan pH yang tidak seimbang dapat meningkatkan risiko pertumbuhan jamur dan bakteri di dalam kolam, yang tidak hanya membahayakan ikan tetapi juga menurunkan kualitas air secara keseluruhan. Kondisi ini dapat menghambat proses metabolisme ikan, sehingga ikan tidak tumbuh secara optimal dan bahkan menyebabkan kematian pada kasus-kasus yang parah (Nurhidayat, 2020). Oleh sebab itu, pemantauan dan pengendalian pH secara berkala sangat penting dalam menjaga kualitas air serta keberhasilan budidaya ikan lele (Umam dkk., 2023).

## BAB II METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer hasil pengamatan di Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar. Pengamatan dilakukan selama periode 28 Mei 2024 – 27 Juni 2024. Data tersebut terdiri dari 10 sampel bak pembibitan ikan lele dengan 30 kali pengamatan.

### 2.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kandungan pH air budidaya ikan lele dengan pengambilan sampel dilakukan setiap hari.

### 2.3 Struktur Data

Struktur data yang digunakan berdasarkan waktu pengamatan ( $i$ ) dengan sampel bak pembibitan ( $j$ ) yang ditunjukkan pada tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Struktur Data Penelitian

Subgrup/ Pengamatan ( $i$ )	Sampel bak pembibitan ( $j$ )						
	1	2	3	4	5	...	10
1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$	$x_{1,4}$	$x_{1,5}$	...	$x_{1,10}$
2	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	$x_{2,3}$	$x_{2,4}$	$x_{2,5}$	...	$x_{2,10}$
3	$x_{3,1}$	$x_{3,2}$	$x_{3,3}$	$x_{3,4}$	$x_{3,5}$	...	$x_{3,10}$
4	$x_{4,1}$	$x_{4,2}$	$x_{4,3}$	$x_{4,4}$	$x_{4,5}$	...	$x_{4,10}$
5	$x_{5,1}$	$x_{5,2}$	$x_{5,3}$	$x_{5,4}$	$x_{5,5}$	...	$x_{5,10}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	$x_{30,1}$	$x_{30,2}$	$x_{30,3}$	$x_{30,4}$	$x_{30,5}$	...	$x_{30,10}$

Keterangan:

$i$  : pengamatan kandungan pH pada waktu ke- $i$ , dengan  $i = 1,2,3, \dots, 30$ .

$j$  : sampel bak pembibitan ikan lele ke- $j$ , dengan  $j = 1,2,3, \dots, 10$ .

$x_{i,j}$  : data pengamatan pH air tawar pada waktu ke- $i$  dalam bak pembibitan ikan lele ( $j$ ).

### 2.4 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan *software Microsoft Excel*, SPSS, dan R Studio dalam menyelesaikan proses perhitungan. Adapun langkah-langkah analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data pengamatan kandungan pH air budidaya ikan lele di Kelompok Perikanan Bina Bersama Kota Makassar.
2. Mengkaji penentuan nilai rata-rata dan variansi untuk batas kendali metode *Robust Exponentially Weighted Moving Average* dengan estimator IQR dan *Biweight*.
3. Melakukan pengujian asumsi normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov.

4. Menghitung nilai  $\bar{x}_i$  untuk masing-masing pengamatan ke- $i$  dan  $\bar{\bar{x}}$  untuk keseluruhan waktu pengamatan.
5. Membentuk peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* dengan estimator IQR sebagai berikut:
  - a. Menghitung nilai estimator  $IQR_i$  untuk setiap pengamatan ke- $i$  menggunakan Persamaan (14).
  - b. Menghitung nilai  $\overline{IQR}$  untuk seluruh waktu pengamatan.
  - c. Menghitung nilai dari statistik plot ( $W_i$ ) dengan nilai awal ( $W_0$ ) =  $\mu_0$  untuk setiap nilai pembobot  $\lambda = 0,01, 0,25, 0,5, 0,75$ , dan 1 menggunakan Persamaan (18).
  - d. Menghitung nilai *Upper Control Limit* (UCL), nilai *Center Line* (CL), dan *Lower Control Limit* (LCL) menggunakan persamaan (15), (16), dan (17).
  - e. Membentuk peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* dengan estimator IQR menggunakan nilai CL, UCL, LCL dan  $W_i$  yang telah dihitung sebelumnya.
  - f. Menghitung nilai ARL untuk setiap nilai pembobot  $\lambda$  menggunakan Persamaan (27).
  - g. Membandingkan nilai ARL untuk setiap nilai pembobot  $\lambda$  dalam memantau rata-rata proses.
6. Membentuk peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* dengan estimator *Biweight* sebagai berikut:
  - a. Menghitung nilai *Median* <sub>$i$</sub>  dan *MAD* <sub>$i$</sub>  untuk setiap pengamatan ke- $i$ .
  - b. Menghitung estimator *Biweight* <sub>$i$</sub>  untuk setiap pengamatan ke- $i$  menggunakan Persamaan (19).
  - c. Menghitung nilai  $\overline{Biweight}$  untuk seluruh waktu pengamatan.
  - d. Menghitung nilai dari statistik plot ( $Y_i$ ) dengan nilai awal ( $Y_0$ ) =  $\mu_0$  untuk setiap nilai pembobot  $\lambda = 0,01, 0,25, 0,5, 0,75$ , dan 1 menggunakan Persamaan (25).
  - e. Menghitung nilai *Upper Control Limit* (UCL), nilai *Center Line* (CL), dan *Lower Control Limit* (LCL) menggunakan persamaan (22), (23), dan (24).
  - f. Membentuk peta kendali *Robust Exponentially Weighted Moving Average* dengan estimator *Biweight* menggunakan nilai CL, UCL, LCL dan  $Y_i$  yang telah dihitung sebelumnya.
  - g. Menghitung nilai ARL untuk setiap nilai pembobot  $\lambda$  menggunakan persamaan (27).
  - h. Membandingkan nilai ARL untuk setiap nilai pembobot  $\lambda$  dalam memantau rata-rata proses.
7. Melakukan perbandingan nilai ARL estimator IQR dan *Biweight* untuk melihat estimator dengan performa terbaik.
8. Melakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang diperoleh.