



INSTITUT PERTANIAN BOGOR

**OPTIMASI STABILITAS PENGUKURAN MULTI-SENSOR
DAN SISTEM KENDALI KUALITAS AIR MENGGUNAKAN
ALGORITMA FILTER UNTUK LINGKUNGAN SIDAT**

TESIS

**AHMAD ZAMBARKAH SARWO SURONO
F1501222007**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Optimasi Stabilitas Pengukuran Multi-Sensor dan Sistem Kendali Kualitas Air Menggunakan Algoritma Filter untuk Lingkungan Sidat” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister teknik. Karya ini adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum 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 di bagian akhir tesis ini.

Dalam penyusunan karya ini, penulis menggunakan bantuan kecerdasan buatan ChatGPT untuk interpretasi data. Setelah menggunakan alat/layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting konten sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas isi karya tugas akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Ahmad Zambarkah Sarwo Surono
F1501222007

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

SOROTAN

AHMAD ZAMBARKAH SARWO SURONO. Optimasi Stabilitas Pengukuran Multi-Sensor dan Sistem Kendali Kualitas Air Menggunakan Algoritma Filter untuk Lingkungan Sidat. Dibimbing oleh HERRY SUHARDIYANTO, I DEWA MADE SUBRATA dan YONVITNER

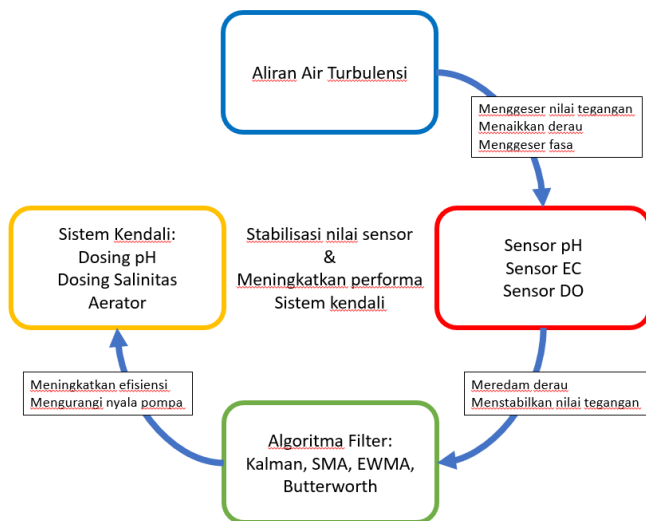
1. Penelitian ini membahas pengaruh turbulensi aliran pada stabilitas pembacaan sensor pH, EC, DO dan suhu, membandingkan kinerja algoritma filter dalam meningkatkan stabilitas sensor, membandingkan penggunaan algoritma filter pada sistem kendali dosing pH, salinitas dan aerator.
2. Penelitian ini menggunakan *Kalman Filter*, *Simple Moving Average*, *Exponential Weight Moving Average* dan *Butterworth Filter* untuk menstabilkan data sensor.
3. Hasil menunjukkan bahwa sensor pH, EC dan DO mengalami perubahan nilai, meningkat deraunya dan perlambatan fasa diakibatkan adanya turbulensi aliran. Kalman Filter mampu mengurangi derau pada hasil pengukuran dan juga mampu memberikan respon paling cepat. Dengan menggunakan Kalman Filter juga mampu meningkatkan efisiensi performa sistem kendali pompa dosing dengan berkurangnya nyala pompa.
4. Tugas akhir ini menunjukkan pentingnya kestabilan data pembacaan sensor dalam hal ini untuk pengukuran pH, EC dan DO pada efisiensi sistem kendali dosing.

HIGHLIGHTS

AHMAD ZAMBARKAH SARWO SURONO. Optimization of Multi-Sensor Measurement Stability and Water Quality Control System Using Filtering Algorithms for Eel Aquaculture Environments. Supervised by HERRY SUHARDIYANTO, I DEWA MADE SUBRATA and YONVITNER.

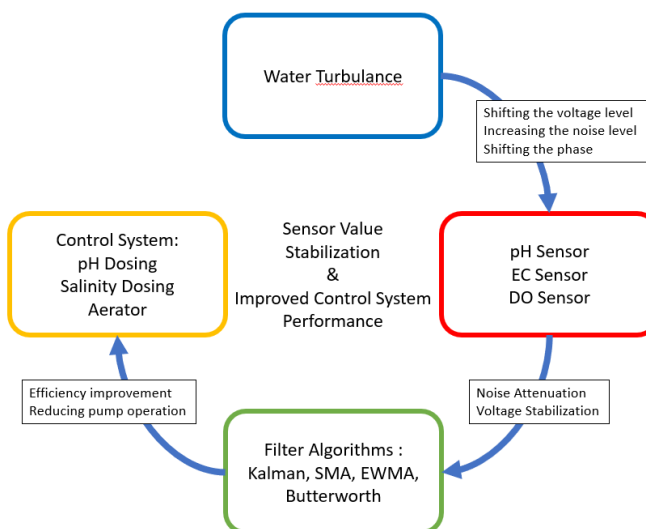
1. This study discusses the effect of flow turbulence on the stability of pH, EC, DO and temperature sensor readings, compares the performance of filter algorithms in improving sensor stability, compares the implications of using filter algorithms on pH and salinity dosing control systems and aerators.
2. This study used Kalman Filter, Simple Moving Average, Exponential Weight Moving Average and Butterworth Filter to stabilize sensor data.
3. The results showed that the pH, EC and DO sensor experienced a change in value, increased noise and phase deceleration due to flow turbulence. Kalman Filter is able to reducing noise in the measurement results and is also able to provide the fastest. Using Kalman Filter is also able to improve the performance efficiency of the dosing pump control system by reducing the pump flame.
4. This final work demonstrates the importance of the stability of sensor reading data in this case for the measurement of pH, EC and DO on the efficiency of the dosing control system and suggests the potential for evaporation in the nutrient dosing system for both plants and animals.

RINGKASAN VISUAL



Optimasi Sistem Kendali Kualitas Air

GRAPHICAL SUMMARY



Water Quality Control System Optimmmization

RINGKASAN

AHMAD ZAMBARKAH SARWO SURONO. Optimasi Stabilitas Pengukuran Multi-Sensor dan Sistem Kendali Kualitas Air Menggunakan Algoritma Filter untuk Lingkungan Sidat. Dibimbing oleh HERRY SUHARDIYANTO, I DEWA MADE SUBRATA dan YONVITNER

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi stabilitas pengukuran multi-sensor kualitas air dan meningkatkan performa sistem kendali otomatis pada lingkungan budidaya sidat menggunakan algoritma filter. Budidaya sidat memerlukan kondisi kualitas air yang stabil karena ikan sidat sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, terutama pada fase awal pertumbuhan. Pada sistem monitoring modern berbasis sensor, kondisi aliran air yang dinamis dapat menimbulkan derau (noise), fluktuasi sinyal, dan penurunan akurasi pembacaan sensor. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh turbulensi aliran terhadap sensor kualitas air serta menentukan algoritma filter yang paling efektif dalam meredam derau dan menstabilkan data sensor.

Penelitian menggunakan empat sensor kualitas air, yaitu sensor pH, sensor EC (Electrical Conductivity) untuk pengukuran salinitas, sensor DO (Dissolved Oxygen), dan sensor suhu DS18B20 yang diintegrasikan dalam satu modul multi-sensor berbasis ESP32. Eksperimen dilakukan menggunakan akuarium uji dengan aliran dinamis yang dihasilkan oleh *wavemaker* untuk merepresentasikan kondisi lingkungan budidaya sidat secara nyata. Kecepatan aliran dikarakterisasi menggunakan *flowmeter* yang telah dikalibrasi, sedangkan seluruh sensor dikalibrasi menggunakan larutan standar untuk memastikan akurasi pengukuran.

Data hasil pengukuran sensor dianalisis menggunakan empat metode filter, yaitu 1) Kalman Filter, 2) *Simple Moving Average* (SMA), 3) *Exponential Weighted Moving Average* (EWMA), dan 4) *Butterworth Filter*. Evaluasi performa filter dilakukan menggunakan parameter statistik berupa standar deviasi, *Root Mean Square Error* (RMSE), *Noise Reduction Ratio* (NRR), *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), dan *Smoothness Index*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbulensi aliran berpengaruh signifikan terhadap kestabilan pengukuran sensor pH, sensor EC dan sensor DO. Sensor pH menjadi sensor yang paling sensitif terhadap perubahan aliran dan menghasilkan fluktuasi sinyal paling besar, sedangkan sensor suhu tidak menunjukkan perubahan sinyal yang signifikan. Hasil komparasi menunjukkan bahwa setiap algoritma filter memiliki karakteristik berbeda. SMA memiliki respons cepat namun kurang optimal dalam meredam derau, EWMA menghasilkan sinyal lebih stabil tetapi memiliki keterlambatan respons, sedangkan Butterworth menghasilkan sinyal paling halus namun menimbulkan *phase lag*. Secara keseluruhan, Kalman Filter menunjukkan performa terbaik karena mampu menghasilkan keseimbangan optimal antara kestabilan sinyal, akurasi estimasi, dan kecepatan respons.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa stabilisasi sinyal sensor berdampak langsung terhadap performa sistem kendali otomatis seperti aerator, pompa *dosing* pH, dan pompa *dosing* salinitas. Penggunaan Kalman Filter menghasilkan sistem kendali yang lebih stabil dan mengurangi *switching* aktuator akibat derau sensor. Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa Kalman Filter merupakan

metode yang efektif untuk meningkatkan reliabilitas sistem monitoring dan kendali kualitas air pada lingkungan budidaya sidat dengan kondisi aliran dinamis.

Kata kunci: Butterworth, Ikan Sidat, Kalman Filter, Multi-sensor, Turbulensi Aliran

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





SUMMARY

AHMAD ZAMBARKAH SARWO SURONO. Optimization of Multi-Sensor Measurement Stability and Water Quality Control System Using Filtering Algorithms for Eel Aquaculture Environments. Supervised by HERRY SUHARDIYANTO, I DEWA MADE SUBRATA and YONVITNER

This study aimed to optimize the stability of multi-sensor water quality measurements and improve the performance of automatic control systems in eel aquaculture environments using filtering algorithms. Eel farming requires stable water quality conditions because eels are highly sensitive to environmental changes, particularly during the early growth stages. In modern sensor-based monitoring systems, dynamic water flow conditions may generate noise, signal fluctuations, and reduced sensor reading accuracy. Therefore, this study was conducted to evaluate the effect of flow turbulence on water quality sensors and to determine the most effective filtering algorithm for reducing noise and stabilizing sensor data.

The study employed four water quality sensors, namely a pH sensor, an EC (Electrical Conductivity) sensor for salinity measurement, a DO (Dissolved Oxygen) sensor, and a DS18B20 temperature sensor integrated into an ESP32-based multi-sensor module. Experiments were conducted using a test aquarium with dynamic flow generated by a wavemaker to simulate real eel aquaculture conditions. Flow velocity was characterized using a calibrated flowmeter, while all sensors were calibrated using standard solutions to ensure measurement accuracy.

Sensor measurement data were analyzed using four filtering methods: 1) Kalman Filter, 2) Simple Moving Average (SMA), 3) Exponential Weighted Moving Average (EWMA), and 4) Butterworth Filter. Filter performance evaluation was conducted using statistical parameters including standard deviation, Root Mean Square Error (RMSE), Noise Reduction Ratio (NRR), Signal-to-Noise Ratio (SNR), and Smoothness Index.

The results showed that flow turbulence had a significant effect on the measurement stability of pH sensors, EC sensors and DO sensors. pH sensors are the most sensitive to flow changes and produce the most signal fluctuations, while temperature sensors do not show significant signal change.. Comparative analysis demonstrated that each filtering algorithm had different characteristics. SMA provided fast response but was less effective in reducing noise, EWMA generated more stable signals but introduced response delays, while the Butterworth Filter produced the smoothest signals but caused phase lag. Overall, the Kalman Filter demonstrated the best performance by providing an optimal balance between signal stability, estimation accuracy, and response speed.

This study also showed that signal stabilization directly affected the performance of automatic control systems such as aerators, pH dosing pumps, and salinity dosing pumps. The implementation of the Kalman Filter resulted in more stable control systems and reduced actuator switching caused by sensor noise. Therefore, this study proves that the Kalman Filter is an effective method for improving the reliability of water quality monitoring and control systems in eel aquaculture environments with dynamic flow conditions.

Keywords: Butterworth, Eel Aquaculture, Kalman Filter, Multi-Sensor, Flow Turbulence

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji pada Ujian Tesis:
Prof. Dr. Ir. Rokhani, M.Si

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Optimasi Stabilitas Pengukuran Multi-Sensor dan Sistem Kendali Kualitas Air Menggunakan Algoritma Filter untuk Lingkungan Sidat

Nama : Ahmad Zambarkah Sarwo Surono
NIM : F1501222007

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Herry Suhardiyanto, M.Sc.

Pembimbing 2:

Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr.

Pembimbing 3:

Prof. Dr. Yonvitner, S.Pi., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr
NIP. 196208031987031002

Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr
NIP. 196105021986031002

Tanggal Ujian:
29 Juni 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2025 sampai bulan Februari 2026 ini berjudul “*Optimasi Stabilitas Pengukuran Multi-Sensor dan Sistem Kendali Kualitas Air Menggunakan Algoritma Filter untuk Lingkungan Sidat*”. Tesis ini tersusun atas bimbingan dan kerja sama dari berbagai pihak selama penulisan, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Ibu Dra. Sri Wahyoeni dan Ibu mertua Nurma yang selalu memberikan doa, semangat dan kasih sayang sehingga penelitian ini dapat diselesaikan,
2. Prof. Dr. Ir. Herry Suhardiyo, M.Sc, sebagai ketua komisi pembimbing, Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr dan Prof. Dr. Yonvitner, S.Pi., M.Si sebagai anggota komisi pembimbing yang telah percaya, bersabar membimbing dan banyak memberi saran kepada penulis selama menempuh studi hingga penyelesaian tugas akhir.
3. Prof. Dr. Ir. Rokhani, M.Si sebagai penguji luar komisi yang telah banyak memberikan masukan dan nasihat agar tesis ini menjadi lebih baik lagi.
4. Istri Hani Fajrah, S.Pd., anak Utsman Yasir Abdulkarim, anak Yahya Abdulhalim dan anak Hana Qanita Amatullah yang telah setia mendampingi, memberikan do'a dan motivasi sehingga studi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Pertanian dan Biosistem angkatan tahun 2022 yang telah mendukung dan membantu selama masa studi.
6. Rekan-rekan mahasiswa S3 Bapak Dr. Sudirman Sirait, S.TP., M.Si., Bapak Dr. Yohanes Bayu Suharto, S.P., M.Si., Bapak Dr. Edo Saputra, S.TP., M.P., Bapak Dr. Husen Asbanu, S.T., M.Si., Ibu Yunisa Tri Suci, S.TP., M.Si. yang telah banyak memberikan arahan, masukkan, dan pengalaman yang berharga selama penulis menjalani studi.

Semoga Allah SWT memberikan imbalan yang terbaik untuk setiap bantuan yang penulis terima. Penulis berharap karya ilmiah ini dapat memberi manfaat dan menjadi bagian dari pengembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknik pertanian dan biosistem. Amin Ya Rabbal 'Alamin.

Bogor, Juli 2026

Ahmad Zambarkah Sarwo Surono



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kualitas Air dan Parameter Pengukuran	4
2.2 <i>Multi-sensor / Sensor Arrays / Sensor Fusion</i>	5
2.3 Aliran Air	5
2.4 Algoritma Filter	7
2.5 Penelitian terdahulu	9
III METODE PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian	12
3.3 Variabel Penelitian dan Parameter Pengujian	12
3.4 Tahapan Penelitian	14
3.5 Setup Eksperimen dan Inisiasi Kualitas Air	15
3.6 Rancangan Modul <i>Multi-Sensor</i>	16
3.7 Kalibrasi Flowmeter	17
3.8 Kalibrasi Sensor-sensor	18
3.9 Pengukuran Respon Sensor di Bawah Gangguan Aliran	19
3.10 Analisis Aliran Tinak Tunak (<i>Unsteady Flow</i>)	19
3.11 Kalman Filter	21
3.12 <i>Butterworth</i> Filter	22
3.13 <i>Moving Average</i>	22
3.14 Parameter dan Inisialisasi Algoritma Filter	23
3.15 Metode Pengujian Sistem Kendali On-Off	24
3.16 Analisis Data	24
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Karakteristik Aliran	27
4.2 Karakteristik Sinyal	28
4.3 Respon Sensor Terhadap Aliran	30
4.4 Penempatan Sensor	31
4.5 Bilangan Reynolds	32
4.6 Simulasi Pengaturan Filter	33
4.7 Uji Stabilisasi Nilai pH	34
4.8 Uji Stabilisasi Nilai Salinitas	35
4.9 Uji Stabilisasi Nilai DO	36
4.10 Uji Stabilisasi Nilai Suhu	37

4.11 Uji Akurasi Sistem Kendali Kualitas Air Otomatis	38
V SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	48
RIWAYAT HIDUP	54

