

Deteksi Anomali Konduktivitas Air Menggunakan Kalman Filter

Wahyu Sukestyastama Putra, Muhammad Kopravi, Wahid Miftahul Ashari, Jeki Kuswanto
Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Amikom Yogyakarta, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirimkan 20 Juni 2022
Direvisi 12 Juli 2022
Diterima 18 Juli 2022

Kata Kunci:

Anomaly Detection;
Kalman Filter;
Water Quality Monitoring;
Water Electrical Conductivity

Penulis Korespondensi:

Wahyu Sukestyastama Putra,
Universitas Amikom
Yogyakarta,
Yogyakarta, Indonesia.
Email: wahyu@amikom.ac.id

ABSTRACT / ABSTRAK

Water quality is an essential part of shrimp farming. Data integrity is one of the challenges in building a water conductivity monitoring system. Data read by the sensor should represent the physical conditions that occur. However, some factors can cause abnormal data changes. This abnormal data change can occur due to sensor damage or an attempt to sabotage the pool. In this study, a data anomaly detection algorithm was built using the Kalman filter and standard deviation to solve the problem of determining the normal range of data. The designed algorithm was then tested and evaluated using Arduino nano, Arduino mega, and Wemos D1 Microcontrollers to determine the algorithm's performance on limited computing devices. Based on the data analysis that has been carried out, it is found that the anomaly detection algorithm based on the Kalman filter has an accuracy of 92.5% and can detect anomaly data that occurs with TPF = 1 and FNR = 0 values. The implementation of the detection algorithm on the microcontroller shows that WEMOS D1 (ESP8266) has an excellent average computational speed of 27.99 us. As for the stability of the Arduino Nano (ATMEGA328) and Arduino Mega 2560 (ATMEGA 2560) microcontrollers, the computation time deviation is about 2.8 us.

Kualitas air merupakan bagian penting pada budidaya udang. Salah satu tantangan dalam membangun sebuah sistem monitoring konduktivitas air adalah Keutuhan data. Suatu data yang terbaca oleh sensor seharusnya mewakili kondisi fisik yang terjadi. Akan tetapi ada faktor-faktor dapat menyebabkan perubahan data yang tidak wajar. Perubahan data yang tidak wajar ini dapat terjadi karena disebabkan kerusakan sensor maupun adanya upaya sabotase pada kolam. Pada penelitian ini dibangun sebuah algoritma deteksi anomali data menggunakan Kalman filter dan standar deviasi untuk mengatasi masalah penentuan rentang data normal. Algoritma yang dirancang kemudian diuji dan dievaluasi dengan menggunakan Mikrokontroler Arduino nano, Arduino mega dan Wemos D1 untuk mengetahui performa algoritma yang dirancang pada perangkat komputasi terbatas. Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa algoritma deteksi anomali berbasis kalman filter memiliki akurasi 92,5% dan dapat mendeteksi data anomali yang terjadi dengan nilai TPF =1 dan FNR=0. Implementasi algoritma deteksi pada mikrokontroler menunjukkan bahwa WEMOS D1 (ESP8266) memiliki rata-rata kecepatan komputasi yang baik yaitu 27,99 us. Sedangkan untuk kestabilan mikrokontroler Arduino Nano (ATMEGA328) dan Arduino Mega 2560 (ATMEGA 2560) memiliki deviasi waktu komputasi sekitar 2,8 us.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



Sitasi Dokumen ini:

W. S. Putra, M. Kopravi, W. M. Ashari, and J Kuswanto, "Deteksi Anomali Konduktivitas Air Menggunakan Kalman Filter," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 22-29, 2022. DOI: [10.12928/biste.v4i1.6188](https://doi.org/10.12928/biste.v4i1.6188)

1. PENDAHULUAN

Kualitas air merupakan bagian penting pada budidaya udang. Mina pada [1] menyatakan bahwa Suhu air, PH konduktivitas listrik, kadar oksigen terlarut dan potensi oksidasi-reduksi merupakan parameter yang berpengaruh pada kualitas air. Upaya untuk melakukan monitoring air telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya seperti pada [1–7]. Monitoring parameter tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan sensor yang harganya relatif murah. Konduktivitas air merupakan salah satu parameter kualitas air yang perlu dimonitoring pada sebuah tambak udang. Konduktivitas elektrik pada air dipengaruhi oleh keberadaan ion pada air seperti hasil penelitian yang telah dilakukan oleh [8]. Pada penelitian tersebut juga menyatakan bahwa keberadaan ion ion tersebut akan berpengaruh pada karakteristik fisik air seperti perubahan titik beku maupun titik didih.

Manoj pada [9] telah menyatakan batas aman parameter air yang dapat digunakan untuk keperluan kolam tambak. Dengan adanya informasi tersebut maka sistem alarm kualitas air dapat dibuat dengan baik. Akan tetapi, Salah satu tantangan dalam membangun sebuah sistem monitoring konduktivitas air adalah *data integrity*. Suatu data yang terbaca oleh sensor seharusnya mewakili kondisi fisik yang terjadi. Akan tetapi sebuah fenomena fisik di alam tidak dapat berdiri sendiri. Ada faktor lain yang dapat menyebabkan gangguan dalam pembacaan data sebuah fenomena fisik. Dengan demikian perlu dibuat sebuah algoritma yang mampu mengevaluasi kewajaran data yang terbaca oleh sensor. Algoritma deteksi anomali data diperlukan sebagai peringatan dini terhadap perubahan data yang tidak wajar. Perubahan data yang tidak wajar ini dapat terjadi karena disebabkan kerusakan sensor maupun adanya upaya sabotase pada kolam. Penelitian terkait deteksi anomali pada air telah dilakukan pada [10–14] untuk keperluan air minum maupun air sungai.

Shaukat pada [15] menyatakan bahwa menentukan rentang data normal dalam membangun sistem merupakan sebuah tantangan dalam membangun sistem deteksi anomali pada data time series. Penelitian terkait deteksi kesalahan data telah dilakukan oleh wibowo pada [16]. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa Kalman Filter dapat mengompensasi nilai saat terjadi serangan *data injection*. Data yang digunakan pada penelitian tersebut adalah data time series. Akan tetapi pada penelitian tersebut belum diungkapkan cara membedakan data yang normal dan data yang tidak normal. Saqib pada [17] menggunakan standar deviasi untuk menentukan rentang batas nilai normal. Pada penelitian tersebut, estimasi dilakukan menggunakan metode ARIMA. Nilai hasil estimasi kemudian digunakan sebagai nilai pembanding untuk menentukan apakah data yang terbaca masuk dalam kategori normal atau anomali.

Pada penelitian ini peneliti akan menguji performa Kalman filter yang dikombinasikan dengan standar deviasi untuk membangun algoritma deteksi anomali data untuk keperluan monitoring kolam tambak berbasis IoT. Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan wibowo pada [16], algoritma Kalman Filter dapat digunakan untuk mengestimasi nilai normal sebuah data *time series*. Kombinasi dengan standar deviasi sensor dilakukan untuk menentukan rentang data normal. Pengujian algoritma yang dirancang akan dianalisis performanya pada perangkat mikrokontroler. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan peneliti lain dalam menerapkan algoritma deteksi pada sistem monitoring yang akan dibangun.

2. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan mengimplementasikan algoritma yang di rancang ke development board mikrokontroler kemudian melakukan analisis performa algoritma pada mikrokontroler tersebut. Pada penelitian ini dirancang sebuah algoritma *anomaly detection* pada sistem monitoring konduktivitas air. Algoritma sistem yang dibangun digambarkan pada Gambar 1. Sistem yang dibangun melakukan deteksi anomali dengan membandingkan data yang terbaca oleh sensor dengan batas atas dan batas bawah rentang nilai yang seharusnya terbaca. Batas bawah dan batas atas ditentukan dengan menggunakan hasil estimasi algoritma Kalman filter.

Putra pada [18–19] menguraikan bahwa algoritma kalman filter memiliki tiga bagian utama yaitu bagian penentuan nilai awal, prediksi dan koreksi. Penentuan nilai awal perlu dilakukan karena Kalman filter merupakan sebuah sistem kausal. Sedangkan tahap prediksi adalah tahap estimasi nilai menggunakan sebuah model dan input data sebelumnya. Hasil tahap prediksi kemudian di koreksi menggunakan Kalman Gain untuk mendapatkan nilai *state* yang akurat.

Bagian 1: Penentuan nilai awal yaitu menentukan nilai awal *state* $\hat{x}_{k-1} = 300$, dan Menentukan nilai awal *Covariance error* $P_{k-1} = 1$.

Bagian 2: Tahap prediksi yaitu Memprediksi nilai *state* (\hat{x}_k^-)

$$\hat{x}_k^- = \hat{x}_{k-1} \quad (1)$$

dan memprediksi nilai *Covariance Error* (P_k^-)

$$P_k^- = P_{k-1} + 1 \quad (2)$$

Bagian 3: tahap koreksi yaitu Menghitung Kalman Gain (K_k)

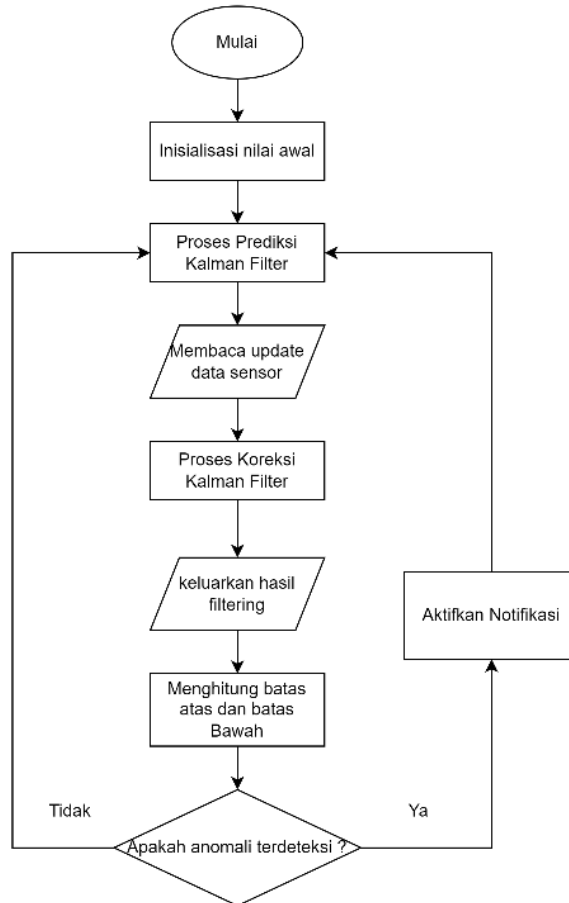
$$K_k = P_k^-(P_k^- + 1)^{-1} \tag{3}$$

Koreksi nilai State (\hat{x}_k) dengan menggunakan z_k adalah data terbaca oleh sensor

$$\hat{x}_k = x_k^- + K_k(z_k - \hat{x}_k^-) \tag{4}$$

Lalu, Koreksi nilai *Covariance Error* (P_k)

$$P_k = (1 - K_k H)P_k^- \tag{5}$$

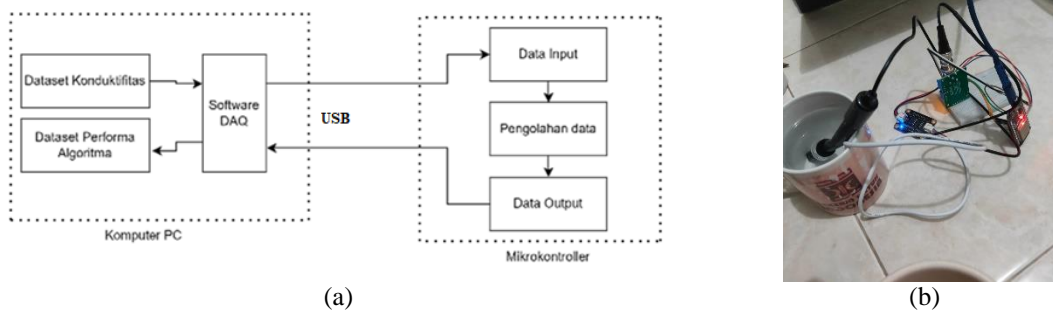


Gambar 1. flowchart algoritma deteksi *anomaly*

Skema eksperimen pada penelitian ini digambarkan pada [Gambar 2](#). Perangkat yang digunakan adalah komputer PC dan *Development board* mikrokontroler. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan performa algoritma pada 3 *development board* yang dapat digunakan untuk membangun sebuah sistem monitoring konduktivitas air. Perbandingan *development board* yang digunakan dirangkum pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Perbandingan *Development Board* yang digunakan pada penelitian

<i>Development Board</i>	Mikrokontroler	Clock (MHz)	Arsitektur (bit)
Arduino Nano	ATMEGA328P	16	8
Arduino Mega	ATMEGA2560	16	8
Wemos D1	ESP8266	80	32



Gambar 2. Skema eksperimen (a) skema pengambilan data dan (b) Prototipe sistem sensor yang digunakan

Pengujian algoritma pada penelitian ini dilakukan pada perangkat mikrokontroler. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui performa pada perangkat *computing* yang akan digunakan untuk membangun sistem monitoring konduktivitas air. Arduino IDE digunakan untuk membuat *source code* yang berisi algoritma.

Analisis data yang dilakukan terdiri dari analisis waktu eksekusi program, deviasi waktu eksekusi program, Akurasi deteksi, *True Positive Rate* (TPR), *False Positive Rate* (FPR) dan *False Negative Rate* (FNR) yang telah dijelaskan Khraisat pada [20].

1. Analisis waktu eksekusi program, Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan eksekusi algoritma sehingga dapat di estimasi kecepatan maksimum sampling yang bisa dilakukan oleh perangkat yang digunakan.
2. Analisis deviasi waktu eksekusi program, analisis ini dilakukan untuk menganalisis kestabilan perangkat komputer untuk menjalankan algoritma yang telah dirancang.
3. Analisis Akurasi deteksi, analisis ini dilakukan untuk mengukur akurasi algoritma yang telah dirancang.
4. Analisis *True Positive Rate* (TPR), analisis ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara jumlah anomaly yang berhasil diprediksi terhadap total anomaly yang terjadi.
5. Analisis *False Positive Rate* (FPR), analisis ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara jumlah kejadian normal yang terdeteksi anomaly terhadap total kejadian normal.
6. Analisis *False Negative Rate* (FNR), analisis ini dilakukan untuk mengetahui kegagalan algoritma mendeteksi anomaly yang terjadi.

Persamaan yang digunakan pada analisis data adalah sebagai berikut [20].

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \tag{6}$$

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \tag{7}$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \tag{8}$$

$$FNR = \frac{FN}{FN + TP} \tag{9}$$

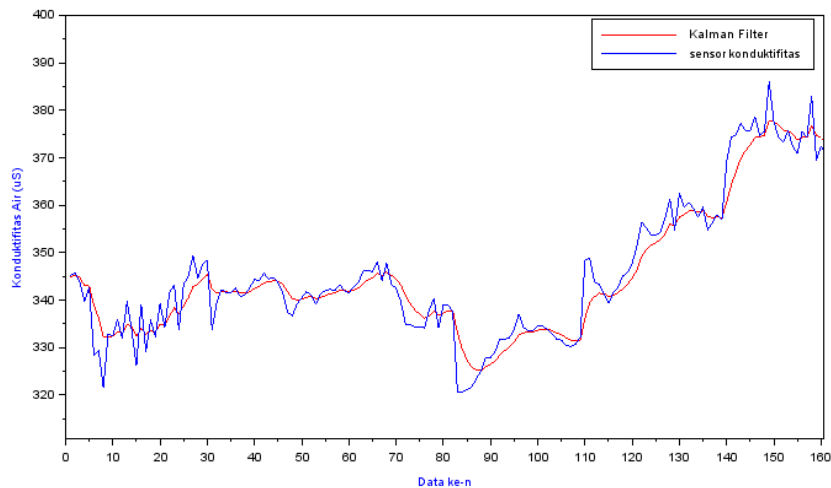
Dengan TP, TN, FP dan FN dijelaskan pada matrix [Gambar 3](#).

		HASIL PREDIKSI	
		Bukan Anomali	Anomali
HASIL VALIDASI	Bukan Anomali	True Negative (TN)	False Positive (FP)
	Anomali	False Negative (FN)	True Positive (TP)

Gambar 3. Matrics hubungan antara hasil prediksi dengan hasil validasi [20]

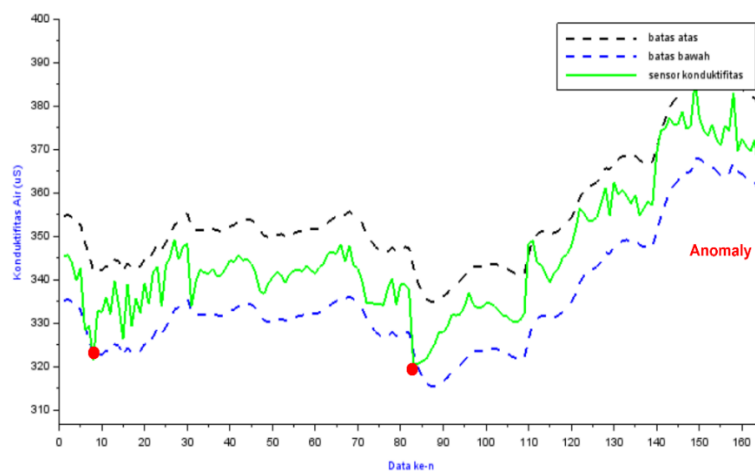
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam membangun sebuah sistem deteksi anomali, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengestimasi rentang nilai normal. Untuk menentukan rentang nilai normal, maka diperlukan estimasi nilai normal yang akurat. Nilai normal ini harus terbebas dari noise pengukuran yang menyebabkan bias informasi pengukuran. Salah satu metode untuk memisahkan data dengan noise adalah dengan metode Linear Kalman Filter. Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan algoritma Kalman Filter pada perangkat mikrokontroller. Hasil perbandingan antara estimasi nilai sensor menggunakan Kalman Filter dengan sensor konduktivitas air dijelaskan pada Gambar 4. Data konduktivitas air yang digunakan adalah data konduktivitas air yang diukur oleh Ahmedi pada [21]. Gambar 4 menunjukkan bahwa Estimasi konduktivitas menggunakan Kalman Filter dapat mewakili sebuah tren data konduktivitas. Nilai hasil estimasi konduktivitas air menggunakan Kalman Filter kemudian dijadikan dasar untuk menentukan batas atas dan batas bawah rentang nilai normal.



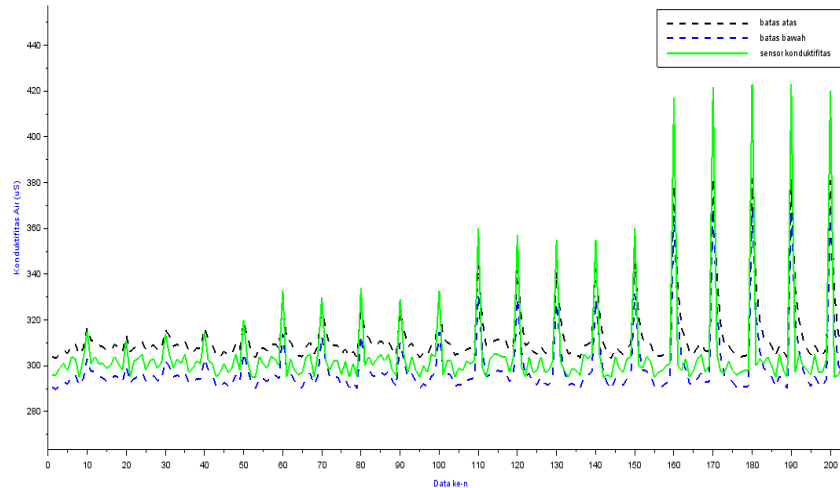
Gambar 4. Perbandingan estimasi konduktivitas air dengan kalman Filter dan Sensor konduktivitas

Batas atas dan batas bawah rentang nilai normal ditentukan dengan memberikan jarak antara batas dengan nilai estimasi menggunakan kalman filter. Jarak yang digunakan pada penelitian ini 1,5 nilai standar deviasi data sensor saat posisi Idle. Anomali data terdeteksi jika data dari sensor berada di luar rentang nilai normal data. Gambar 5 menunjukkan performa algoritma deteksi anomali yang terpasang pada sensor konduktivitas. Apabila data sensor konduktivitas keluar dari batas (garis putus putus) maka akan terdeteksi sebagai anomali data. Data hasil deteksi ini kemudian akan dianalisis apakah anomali bersifat sesaat atau menunjukkan sebuah tren baru. Ketika notifikasi anomali data terjadi maka perlu dilakukan pengecekan secara fisik untuk mengetahui apa yang terjadi sehingga dapat mencegah hal yang tidak diinginkan.



Gambar 5. Deteksi Anomali sensor konduktivitas

Analisis performa algoritma pada perangkat keras pengukuran dilakukan untuk mengetahui performa algoritma pada lingkungan komputasi terbatas. Untuk melakukan analisis lebih detail terkait algoritma yang dirancang, algoritma diuji menggunakan data dummy yang telah di injeksi data berupa data pulsa. Skenario ini digunakan untuk mengetahui seberapa sensitif algoritma dalam mendeteksi perubahan data yang terjadi secara sesaat. Performa algoritma dalam mendeteksi data injeksi ditunjukkan pada Gambar 6. Sedangkan performa algoritma pada perangkat keras komputasi dirangkum pada Tabel 2.



Gambar 6. validasi Algoritma menggunakan Injeksi data

Tabel 2 menunjukkan bahwa algoritma memiliki waktu eksekusi program paling cepat pada mikrokontroler Wemos D1 dengan waktu rata-rata eksekusi program 27,99 uS. Mikrokontroler Wemos D1 mengeksekusi program sekitar 3 kali lebih cepat daripada apa yang dilakukan oleh mikrokontroler Arduino Nano dan Arduino Mega. Kecepatan ini tercapai karena Wemos D1 menggunakan clock dan arsitektur mikrokontroler yang lebih besar. Meskipun demikian, berdasarkan pengukuran deviasi waktu eksekusi menunjukkan bahwa deviasi waktu komputasi pada Wemos D1 lebih besar daripada deviasi waktu eksekusi pada Arduino nano dan Arduino Mega. Deviasi waktu yang lebih besar menunjukkan bahwa kestabilan kecepatan komputasi algoritma pada Wemos D1 tidak menunjukkan kepresisian. Dengan membandingkan deviasi waktu dengan rata-rata waktu eksekusi dapat dilihat bahwa kestabilan komputasi pada Arduino Nano dan Arduino Mega lebih baik daripada kestabilan komputasi pada Wemos D1.

Tabel 2. Hasil Validasi Performa Algoritma

Development Board	Rata Rata Waktu Eksekusi Program (us)	Deviasi waktu eksekusi (us)	Akurasi (%)
Arduino Nano	96,39	2,868	92,5
Arduino Mega	97,44	2,833	92,5
Wemos D1	27,99	6,842	92,5

Tabel 2 juga menunjukkan bahwa ketiga perangkat eksperimen penelitian memiliki akurasi deteksi yang sama yaitu 92,5%. Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa deteksi anomali berbasis Kalman filter memiliki akurasi lebih besar daripada algoritma smoothing Simple Moving Average 3 periode (SMA 3) dan 5 periode (SMA 5). Hasil pengukuran TPR bernilai 1 dan FNR bernilai 0 memiliki arti bahwa semua anomali pada data uji dapat terdeteksi. Sedangkan Pengukuran FPR pada algoritma deteksi berbasis kalman filter menunjukkan bahwa jumlah kejadian normal yang terdeteksi sebagai anomali lebih sedikit daripada algoritma smoothing Simple Moving Average 3 periode (SMA 3) dan 5 periode (SMA 5). Data perbandingan Algoritma deteksi anomali pada penelitian ini dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perbandingan Algoritma

Algoritma Estimasi	Akurasi (%)	True Positive Rate (TPR)	False Positive Rate (FPR)	False Negative Rate (FNR)
Kalman Filter	92,5	1	0,083	0
SMA-3	85,5	1	0,161	0
SMA-5	76	1	0,267	0
Tanpa Algoritma	90	0	0	1

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa algoritma deteksi anomali berbasis kalman filter memiliki akurasi 92,5% dan dapat mendeteksi data anomali yang terjadi dengan nilai TPF=1 dan FNR=0. Implementasi algoritma deteksi pada mikrokontroler menunjukkan bahwa WEMOS D1 (ESP8266) memiliki rata-rata kecepatan komputasi yang baik yaitu 27,99 us. Sedangkan untuk kestabilan mikrokontroler Arduino Nano (ATMEGA328) dan Arduino Mega 2560 (ATMEGA 2560) memiliki deviasi waktu komputasi sekitar 2,8 us. Pada sistem Monitoring kualitas air tambak udang terdapat beberapa parameter penting kualitas air. dengan demikian pada penelitian selanjutnya diperlukan penelitian terkait algoritma deteksi anomali multi parameter dan aspek linearitas sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian didukung dan dibiayai oleh Lembaga Penelitian Universitas Amikom Yogyakarta dengan nomor kontrak 011/KONTRAK-LPPM/AMIKOM/XII/2021.

REFERENSI

- [1] O. Mina, H. E. Gall, J. W. Chandler, J. Harper, and M. Taylor, "Continuous hydrologic and water quality monitoring of vernal ponds," *J. Vis. Exp.*, vol. 2017, no. 129, pp. 1–9, 2017, <https://doi.org/10.3791/56466>.
- [2] J. Huan, H. Li, F. Wu, and W. Cao, "Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT," *Aquac. Eng.*, vol. 90, p. 102088, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102088>.
- [3] K. Saravanan, E. Anusuya, R. Kumar, and L. H. Son, "Real-time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 190, no. 9, 2018, <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6914-x>.
- [4] W. Boonsong *et al.*, "Real-time water quality monitoring of aquaculture pond using wireless sensor network and internet of things," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 98, no. 22, pp. 3573–3582, 2020.
- [5] S. Pasika and S. T. Gandla, "Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT," *Heliyon*, vol. 6, no. 7, p. e04096, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04096>.
- [6] S. J. Yue, C. Hairu, M. Hanafi, S. M. Shafie, and N. A. Salim, "IoT Based Automatic Water Level and Electrical Conductivity Monitoring System," *Proceeding - 2020 IEEE 8th Conf. Syst. Process Control. ICSPC 2020*, no. December, pp. 95–100, 2020, <https://doi.org/10.1109/ICSPC50992.2020.9305768>.
- [7] G. Cario, A. Casavola, P. Gjanci, M. Lupia, C. Petrioli, and D. Spaccini, "Long lasting underwater wireless sensors network for water quality monitoring in fish farms," *Ocean. 2017 - Aberdeen*, vol. 2017-October, pp. 1–6, 2017, <https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2017.8084777>.
- [8] K. A. Rasheed and A. T. Dawood, "Conversion Coefficient for Salinity Measurement in Fresh Water in Terms of Electrical Conductivity," *Plant Arch.*, vol. 19, no. 1967, pp. 2051–2052, 2019, [http://www.plantarchives.org/SPL%20ISSUE%20SUPP%202,2019/355%20\(2051-2052\).pdf](http://www.plantarchives.org/SPL%20ISSUE%20SUPP%202,2019/355%20(2051-2052).pdf).
- [9] M. Manoj, V. D. Kumar, M. Arif, E. R. Bulai, P. Bulai, and O. Geman, "State of the Art Techniques for Water Quality Monitoring Systems for Fish Ponds Using IoT and Underwater Sensors: A Review," *Sensors*, vol. 22, no. 6, 2022, <https://doi.org/10.3390/s22062088>.
- [10] V. H. A. Ribeiro and G. Reynoso-Meza, "Online anomaly detection for drinking water quality using a multi-objective machine learning approach," *GECCO 2018 Companion - Proc. 2018 Genet. Evol. Comput. Conf. Companion*, pp. 1–2, 2018, <https://doi.org/10.1145/3205651.3208202>.
- [11] F. Muharemi, D. Logofătu, and F. Leon, "Machine learning approaches for anomaly detection of water quality on a real-world data set," *J. Inf. Telecommun.*, vol. 3, no. 3, pp. 294–307, 2019, <https://doi.org/10.1080/24751839.2019.1565653>.
- [12] C. Bourelly *et al.*, "A Preliminary Solution for Anomaly Detection in Water Quality Monitoring," *Proc. - 2020 IEEE Int. Conf. Smart Comput. SMARTCOMP 2020*, pp. 410–415, 2020, <https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP50058.2020.00086>.
- [13] V. H. Alves Ribeiro, S. Moritz, F. Rehbach, and G. Reynoso-Meza, "A novel dynamic multi-criteria ensemble selection mechanism applied to drinking water quality anomaly detection," *Sci. Total Environ.*, vol. 749, p. 142368, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142368>.
- [14] A. G. Hernandez-Ramirez *et al.*, "Detection, provenance and associated environmental risks of water quality pollutants during anomaly events in River Atoyac, Central Mexico: A real-time monitoring approach," *Sci. Total Environ.*, vol. 669, pp. 1019–1032, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.138>.
- [15] K. Shaukat *et al.*, "A Review of Time-Series Anomaly Detection Techniques: A Step to Future Perspectives," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 1363 AISC, no. April, pp. 865–877, 2021, https://doi.org/10.1007/978-3-030-73100-7_60.
- [16] F. W. Wibowo and W. Sukestiyastama Putra, "Sensor Array Fault Detection Technique using Kalman Filter," *2019 2nd Int. Semin. Res. Inf. Technol. Intell. Syst. ISRITI 2019*, pp. 124–128, 2019, <https://doi.org/10.1109/ISRITI48646.2019.9034591>.
- [17] M. Saqib, E. Şentürk, S. A. Sahu, and M. A. Adil, "Ionospheric anomalies detection using autoregressive integrated moving average (ARIMA) model as an earthquake precursor," *Acta Geophys.*, vol. 69, no. 4, pp. 1493–1507, 2021, <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00616-3>.
- [18] W. S. Putra, "Implementasi Algoritma 2 Step Kalman Filter Untuk Mengurangi Noise Pada Estimasi Data Accelerometer," *J-SAKTI (Jurnal Sains Komput. dan Inform.)*, vol. 3, no. 1, pp. 142–151, 2019, <https://doi.org/10.30645/j-sakti.v3i1.108>.

- [19] W. S. Putra, J. Kuswanto, W. M. Ashari, and M. Kopravi, "Comparative Study of Kalman Filter and H infinity Filter for Current Sensorless Battery Health Analysis," *2021 4th Int. Conf. Inf. Commun. Technol.*, pp. 92–97, 2021, <https://doi.org/10.1109/ICOIACT53268.2021.9563993>.
- [20] A. Khraisat, I. Gondal, P. Vamplew, and J. Kamruzzaman, "Survey of intrusion detection systems: techniques, datasets and challenges," *Cybersecurity*, vol. 2, no. 1, 2019, <https://doi.org/10.1186/s42400-019-0038-7>.
- [21] L. Ahmedi, Figene; Ahmedi, "InWaterSense Dataset: Data from a wireless sensor network on water quality monitoring in a river in Kosovo." Mendeley Data, 2021.

BIOGRAFI PENULIS



Wahyu Sukestyastama Putra memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.), Jurusan Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada, lulus tahun 2013. Memperoleh gelar Master of Engineering (M.Eng) Program Pasca Sarjana Teknik Elektro Universitas Gajah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2016. Saat ini menjadi Dosen di Universitas AMIKOM Yogyakarta, pada Program Studi S1-Teknik Komputer. Bidang penelitiannya adalah sistem Instrumentasi dan Internet of Things.



Muhammad Kopravi memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom.), Program Studi S1-Teknik Informatika STMIK AMIKOM Yogyakarta, lulus tahun 2013. Memperoleh gelar Master of Engineering (M.Eng) Program Pasca Sarjana Teknik Elektro (Teknologi Informasi) Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2017. Saat ini menjadi Dosen di Universitas AMIKOM Yogyakarta, pada Program Studi S1-Teknik Komputer. Bidang penelitian terkait Software Engineering dan Web Security. Email: kopravi@amikom.ac.id



Wahid Miftahul Ashari Memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom.), Jurusan Teknik Informatika Universitas Dian Nuswantoro, lulus tahun 2013. Memperoleh gelar Magister Teknik(M.T) Program Pasca Sarjana Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung, lulus tahun 2017. Saat ini menjadi Dosen di Universitas AMIKOM Yogyakarta, pada Program Studi S1-Teknik Komputer. Bidang penelitiannya adalah Kriptografi, sistem Instrumentasi dan Internet of Things. Email: wahidashari@amikom.ac.id



Jeki Kuswanto Memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom.), Jurusan Teknik Informatika STMIK AMIKOM Yogyakarta, lulus tahun 2016. Memperoleh gelar Magister Komputer (M.Kom) Program Pasca Sarjana Teknik Informatika, Universitas AMIKOM Yogyakarta, lulus tahun 2019. Saat ini menjadi Dosen di Universitas AMIKOM Yogyakarta, pada Program Studi S1-Teknik Komputer. Bidang penelitiannya adalah Internet of Things. Email: jeki@amikom.ac.id