

Studi Penerapan Filter Digital pada Sistem Pemantau Parameter di Kolam Ikan

Agritian Sevty Fiddariani¹, Budi Sumanto^{1*}

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; agritiansevty@mail.ugm.ac.id

*Korespondensi: budi.sumanto@ugm.ac.id

Abstract – Indonesia has great potential in the fisheries sector, especially in the aquaculture sector. Along with the high potential of aquaculture, better attention is also needed to aspects that support aquaculture, such as temperature, pH and water depth. In previous studies, the measurement results of this parameter were not confirmed and were affected by interference. Therefore, a study was conducted regarding the application of digital filter methods that include Kalman filter, moving average filter, and Hanning filter 'to determine which of the three filter methods has the best accuracy value on this tool. By using the Kalman filter, moving average filter and Hanning filter method, the results show that the HCSR-04 sensor is more compatible with the Hanning filter and moving average and Kalman filter, the DS18B20 sensor uses the Hanning filter, and the pH 4502- Sensor C uses the moving average filter and Kalman filter.

Keywords – fish pond, Kalman filter, moving average filter, Hanning filter

Intisari – Indonesia memiliki potensi yang besar pada sektor perikanan terutama pada sektor perikanan budidaya. Seiring dengan tingginya potensi perikanan budidaya maka diperlukan pula perhatian yang lebih baik pada aspek-aspek yang mendukung budidaya perikanan, seperti suhu, pH, dan kedalaman air. Pada penelitian sebelumnya, hasil pengukuran parameter tersebut belum tervalidasi dan terpengaruh oleh gangguan. Oleh karena itu, dilakukan studi mengenai penerapan metode filter digital yang meliputi filter Kalman, *moving average filter*, dan filter Hanning untuk menentukan dari ketiga metode filter tersebut manakah yang terbaik nilai akurasi pada alat tersebut. Dengan menggunakan metode filter Kalman, *moving average filter*, dan filter Hanning, didapatkan hasil bahwa sensor HCSR-04 lebih cocok dengan filter Hanning dan *moving average filter* serta filter Kalman, sensor DS18B20 menggunakan filter Hanning, dan sensor pH 4502-C menggunakan *moving average filter* dan filter Kalman.

Kata kunci – kolam ikan, filter Kalman, *moving average filter*, filter Hanning

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi yang besar pada sektor perikanan terutama pada sektor perikanan budidaya. Menurut Rilis Data Kementerian Kelautan dan Perikanan pada triwulan IV tahun 2022, volume perikanan budidaya sebesar 4,39 juta ton [1]. Seiring dengan tingginya potensi perikanan budidaya maka diperlukan pula perhatian yang lebih baik pada aspek-aspek yang mendukung budidaya perikanan. Beberapa aspek yang menjadi acuan adalah parameter suhu, pH, dan kedalaman air. Menurut Kelabora [2] hal tersebut dikarenakan suhu dapat mempengaruhi aktivitas ikan, seperti nafsu makan ikan, pernafasan, reproduksi, dan tentu pertumbuhan ikan. Menurut Arifin [3] nilai pH air yang tidak sesuai dengan batasan optimal ikan akan mengakibatkan gangguan fisik atau fisiologis, stres, bahkan kematian. Menurut Saptarini [4], kedalaman air kolam yang terlalu dangkal memiliki rentang perubahan suhu yang tidak stabil dan cenderung meningkat karena terjadi penetrasi sinar matahari yang lebih tinggi. Akan tetapi apabila kedalaman air kolam terlalu dalam akan mengakibatkan pertumbuhan ikan menjadi lebih lambat karena cahaya matahari akan semakin sulit untuk menembus kedalaman air karena cahaya matahari mengalami penurunan ketika sudut datang matahari semakin kecil.

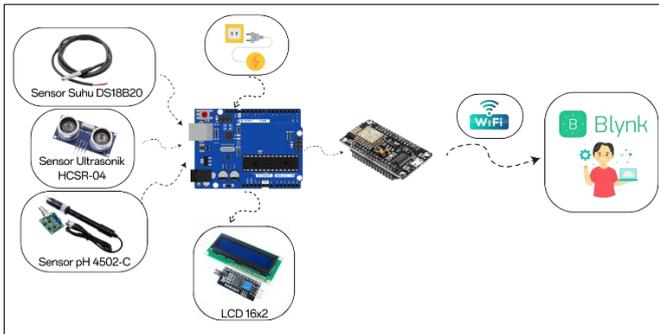
Menurut Fiddariani dan Oktiawati [5], hasil pemantauan data masih dalam bentuk data mentah dan nilai akurasi belum terjamin. Meskipun sudah berbasis otomatis namun masih diperlukan pengembangan lebih lanjut dikarenakan data hasil pemantauan melalui sensor perlu dilakukan pengolahan sehingga data akan dapat tervalidasi dengan baik.

Pengembangan yang akan dilakukan adalah studi mengenai penerapan beberapa macam metode filter digital dengan tujuan untuk menentukan kebutuhan tiap sensor akan adanya filter serta metode filter yang terbaik nilai akurasi pada alat tersebut.

Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk dapat merancang sistem, mengetahui kinerja, dan mengetahui performa dengan metode filter Kalman, *moving Average Filter*, dan filter Hanning pada alat pemantau parameter kolam ikan sehingga dapat menentukan metode filter yang terbaik pada alat khususnya pada sensor-sensor yang digunakan. Pemilihan ketiga metode ini didasari oleh literatur yang telah mengaplikasikannya dan diterapkan pada sistem yang berbeda-beda. Ketiga metode filter ini telah diterapkan pada sensor *load cell* dengan hasil penggunaan metode filter Hanning memiliki hasil filter terbaik dibandingkan dengan filter Kalman dan *Moving Average Filter* [6]. Penggunaan filter Kalman telah digunakan pula untuk menstabilkan hasil pengukuran pada implementasi sensor HCSR-04 sebagai anemometer serta sensor suhu pada prototipe di luar angkasa [7, 8]. Selain itu, terdapat pula penelitian yang membandingkan filter Kalman beserta *moving average* sekaligus namun pengimplementasiannya pada *wireless odometer* dan alat pengukur kolesterol non-invasif [9, 10]. Di sisi lain, kedua filter ini juga dapat dikombinasikan bersamaan seperti halnya, penggunaan metode filter Kalman dengan bagian prediksi menggunakan *moving average filter* [11].

II. METODOLOGI

Berdasarkan Gambar 1 yakni blok diagram elektronis, sumber listrik yang memuat tegangan dan arus untuk menyuplai mikrokontroler Arduino Uno dan Node MCU ESP8266 serta komponen yang lain. Data yang diambil oleh ketiga sensor akan diolah oleh Arduino Uno untuk diimplementasikan metode filter Kalman, *moving average filter*, dan filter Hanning secara paralel sehingga hasil implementasi dapat dibandingkan. Selanjutnya data akan dikirim melalui *SoftwareSerial* menuju Node MCU ESP8266 dan akan dikirim melalui WiFi untuk ditampilkan pada aplikasi Blynk. Selain itu, hasil pengukuran data *real* akan ditampilkan pada layar LCD 16x2.



Gambar 1. Blok diagram elektronis

Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan alat pemantau parameter kolam ikan seperti pada Gambar 2. Alat pemantau parameter ikan akan diletakkan pada kolam ikan. Kolam ikan yang digunakan merupakan kolam budidaya dengan air tawar.

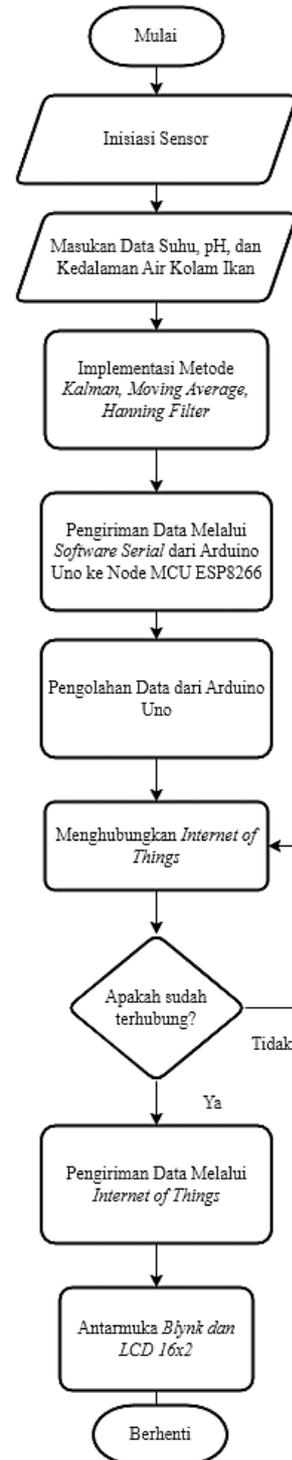


Gambar 2. Hasil desain mekanis dan elektronis

Alat ini mampu mengukur parameter air kolam ikan, seperti suhu, pH, dan kedalaman air. Sensor-sensor yang dimiliki oleh alat ini antara lain sensor suhu DS18B20, sensor pH 4502-C, dan sensor jarak HCSR-04. Bahan baku mekanis yang digunakan adalah akrilik. Bahan tersebut sangat membantu dalam proses *troubleshooting* karna bersifat tembus pandang. Desain dilakukan dengan *software* Inventor.

A. Perancangan dan Implementasi Sistem

Gambar 3 merupakan diagram alir sistem secara keseluruhan yang dimulai dengan inisiasi pin-pin sensor. Setelah inisiasi sensor, maka dilakukan proses penerimaan masukan data parameter kolam ikan, yaitu suhu, pH, dan kedalaman air.



Gambar 3. Diagram alir sistem

Data hasil pengukuran akan diimplementasikan metode filter Kalman, *moving average filter*, dan filter Hanning. Setelah itu, akan dilakukan proses menghubungkan ke sistem *internet of things* (IoT) yang nantinya akan digunakan untuk mengirim data ke *interface*. Apabila proses tersebut tidak berhasil maka aliran sistem akan kembali melakukan proses menghubungkan sedangkan jika proses berhasil maka sistem akan melanjutkan pengolahan data dari Arduino Uno. Data yang telah terolah akan dikirimkan melalui IoT menuju aplikasi antarmuka Blynk dan data akan ditampilkan baik secara bentuk grafik maupun nilai. Selain itu data yang sudah terolah ini akan ditampilkan melalui LCD yang telah terhubung pada perangkat.

Adapun pada pengimplementasian metode filter digital filter Hanning, filter Kalman, dan *moving average filter* menggunakan algoritmanya masing-masing. Pada filter Kalman, algoritma diawali dengan inisialisasi estimasi awal sistem dan ketidakpastian awal estimasi. Selanjutnya dilakukan tahapan prediksi yang terbagi menjadi 2 macam, yaitu nilai estimasi dan ketidakpastian. Apabila tahapan prediksi telah usai, maka akan dilanjutkan pada bagian pembaharuan yang memuat *residual*, *residual covariance*, *kalman gain*, koreksi nilai estimasi, dan koreksi nilai ketidakpastian. Adapun untuk persamaan pembaruan tercantum dalam (1), (2), (3), (4), dan (5).

1) *Residual*: Residual merupakan nilai perbedaan antara pengukuran aktual dan prediksi pengukuran. Selain itu, nilai residual berfungsi untuk mengukur sejauh mana kesesuaian prediksi dengan data aktual.

$$y(k) = z(k) - H * \hat{x}(k|k-1) \quad (1)$$

2) *Residual Covariance*: Pada tahap ini dilakukan pengukuran ketidakpastian *residual*, dihitung berdasarkan ketidakpastian prediksi, matriks pengukuran, dan ketidakpastian pengukuran.

$$S = H * P(k|k-1) * H^T + R \quad (2)$$

3) *Kalman Gain*: *Kalman Gain* adalah faktor penyesuaian yang memadukan prediksi variabel keadaan dengan informasi pengukuran. K dihitung berdasarkan ketidakpastian prediksi, matriks pengukuran, dan *residual covariance*.

$$K = P(k|k-1) * H^T * S^{-1} \quad (3)$$

4) *Koreksi nilai estimasi*: Nilai estimasi mengacu pada peningkatan nilai estimasi variabel keadaan berdasarkan *residual* dan *Kalman Gain*, menghasilkan nilai terbaru dari variabel keadaan.

$$\hat{x}(k|k) = \hat{x}(k|k-1) + K * y(k) \quad (4)$$

5) *Koreksi Ketidakpastian*: Tahap ini bertugas untuk mengoreksi ketidakpastian yang terkait dengan estimasi variabel keadaan setelah pengukuran baru.

$$P(k|k) = (I - K * H) * P(k|k-1) \quad (5)$$

Keterangan:

- H : matriks pengukuran yang menghubungkan nilai estimasi sistem dengan pengukuran aktual
- $z(k)$: data pengukuran aktual pada waktu k
- $\hat{x}(k|k)$: estimasi nilai sistem pada waktu k berdasarkan informasi hingga waktu k
- $P(k|k)$: ketidakpastian estimasi pada waktu k berdasarkan informasi hingga waktu k

Proses akan dilakukan perulangan dari tahap prediksi dan pembaruan untuk setiap iterasi dengan menggunakan data pengukuran baru. Selanjutnya pada bagian metode *moving average filter* memiliki rumusan seperti pada (6).

$$y(i) = \left(\frac{\text{data}_n + \text{data}_{n-1} + \dots}{m} \right) \quad (6)$$

Keterangan:

- $y(i)$: data keluaran ke- i
- data_n : data masukan ke- n
- m : jumlah data masukan

Prinsip kerja *moving average filter* adalah meratakan sejumlah data yang telah didapatkan untuk menentukan tiap data dari keluaran. Proses penyaringan data akan dilakukan terus menerus untuk menghalau derau yang diakibatkan oleh *noise* mekanik [9].

Filter Hanning [12] merupakan suatu filter yang berfungsi menghaluskan sinyal data yang memiliki derau atau *noise*. Prinsip kerjanya adalah dengan mengambil rata-rata tertimbang dari data masukan dengan menggunakan rumusan *hanning window* seperti pada (7).

$$y(i) = \frac{(\text{Data}_{[0]} + 2x\text{Data}_{[1]} + \text{Data}_{[2]})}{4} \quad (7)$$

Keterangan:

- $y(i)$: nilai rata-rata filter Hanning
- $\text{Data}_{[0]}$: sampel data pertama dari masukan sensor
- $\text{Data}_{[1]}$: sampel data sebelumnya yang pertama
- $\text{Data}_{[2]}$: sampel data terakhir

Mean squared error (MSE) adalah suatu perhitungan untuk mengukur rata-rata kesalahan kuadrat antara data aktual dan prediksi yang dihasilkan oleh *moving average filter*, sehingga dapat dievaluasi seberapa baik filter tersebut dalam memperkirakan data aktual. Rumusan MSE tercantum dalam (8).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)^2 \quad (8)$$

Keterangan:

- n : jumlah data
- Y_i : nilai aktual dari pengamatan ke- i
- Y'_i : nilai prediksi dari pengamatan ke- i

Standar deviasi pada filter Kalman adalah ukuran statistik yang mengukur sebaran data pengukuran atau estimasi, dan menunjukkan tingkat ketidakpastian dalam prediksi atau estimasi yang rumusnya dapat dilihat pada (9). Semakin tinggi standar deviasi, semakin besar ketidakpastian dalam hasil prediksi atau estimasi.

$$\text{Standar Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (9)$$

Keterangan:

- n : jumlah data dalam dataset
- x_i : nilai data ke- i
- \bar{x} : rata-rata dari seluruh nilai data

Persentase kesalahan adalah metode pengukuran yang digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana perbedaan antara dua nilai atau data. Dalam persentase kesalahan relatif, yang dilakukan adalah menghitung persentase perbedaan antara nilai yang diukur dan nilai referensi, yang kemudian diukur sebagai persentase dari nilai referensi atau nilai yang sebenarnya seperti pada (10).

$$PK = \left| \frac{\text{Data Aktual} - \text{Data Filter}}{\text{Data Aktual}} \right| \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan :

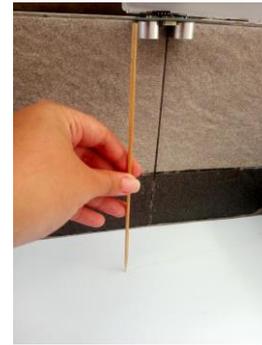
- Data Aktual : data mentah hasil pengukuran
- Data Filter : data hasil filter

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Kalibrasi

Pengujian kalibrasi sensor HCSR-04 dilakukan dengan cara mengambil nilai pada penempatan sensor di bidang datar dan nilai yang didapatkan dibandingkan dengan pengukuran alat ukur meteran pada tempat yang sama. Pengukuran ketinggian dilakukan dengan menghadapkan sensor ke permukaan bawah baik langsung pada permukaan lantai sebagai acuan pada ketinggian 17,4 cm dan pada permukaan benda rata untuk pengukuran ketinggian 13,5 cm seperti pada Gambar 4 dan 5. Hasil persentase kesalahan yang didapatkan adalah 0,52% untuk ketinggian 13,5 cm dan 0,51% untuk ketinggian 17,4 cm.

Pengujian kalibrasi sensor DS18B20 dilakukan dengan cara mengambil nilai pada air biasa dan air hangat dengan nilai suhu yang mendekati nilai suhu air pada kolam ikan seperti pada Gambar 6 dan 7. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan membandingkan besar persentase kesalahan pengukuran oleh sensor terhadap alat ukur banding, yaitu termometer. Hasil yang didapatkan adalah 1,6% untuk suhu 27,5°C dan 0,39% untuk suhu 33,5°C.



Gambar 4. Pengaturan posisi pada ketinggian 17,4 cm



Gambar 5. Pengaturan posisi pada ketinggian 13,5 cm



Gambar 6. Pengaturan suhu 33,5°C



Gambar 7. Pengaturan suhu 27,5 °C

Pengujian kalibrasi sensor pH 4502-C dilakukan dengan kalibrasi secara teknis bawaan dan dibandingkan dengan alat ukur pH meter digital. Persentase kesalahan yang didapatkan adalah 2,3% untuk nilai pH 4,00 dan 1,8% untuk nilai pH 7,00

dengan nilai pengukuran pH meter sebesar 4,32 dan 6,94 seperti pada Gambar 8 dan 9. Berdasarkan nilai persentase kesalahan yang didapatkan, ketiga sensor layak untuk digunakan pada sistem pemantau parameter di kolam ikan.



Gambar 8. Pengaturan pada pH 4,32



Gambar 9. Pengaturan pada pH 6,94

B. Pengujian Tuning Metode Filter

Pada pengujian metode filter Kalman melalui nilai acak untuk mendapatkan nilai R dan Q yang optimal, didapatkan nilai R 0,1 dan Q 0,01 untuk kondisi peredaman *noise* yang stabil namun tidak mengubah karakteristik pola data asli. Proses *tuning* metode filter Kalman dilakukan dengan cara memberikan nilai acak yang dimasukkan ke perhitungan filter Kalman dengan menambahkan nilai R dan Q secara bertahap. Hasil perbandingan antara nilai sebelum dan sesudah filter akan dihitung rata-rata simpangan untuk menentukan simpangan peredaman yang terkecil atau yang terbaik. *Tuning* dihentikan apabila telah didapatkan nilai R dan Q yang memiliki tingkat peredaman *noise* paling baik.

Pengujian pada metode *moving average filter* melalui nilai acak untuk menentukan nilai *window size* yang optimal, nilai acak tersebut antara lain 5, 10, dan 15. Setelah dilakukan uji coba pada nilai acak tersebut, didapatkan nilai *window size* optimal sebesar 10 dengan kondisi peredaman secara maksimal serta rentang jumlah data yang diproses dalam rentang yang terbaik.

C. Perbandingan Hasil Pengukuran Antara Alat Pemantau Parameter Kolam Ikan dengan Alat Ukur Digital

Pengambilan sampel untuk perbandingan dilakukan pada 6 titik waktu selama durasi 39 jam. Sampel yang diambil merupakan kolam ikan budidaya air tawar. Nilai persentase kesalahan yang didapat menyatakan perbandingan selisih

nilai antara pengukuran alat ukur dengan sensor pada pengambilan sampel langsung ke kolam ikan. Hasil persentase kesalahan terendah yang didapatkan untuk sensor HCSR-04 adalah 0,12%, sensor DS18B20 sebesar 0,5%, dan sensor pH 4502-C sebesar 2,22%.

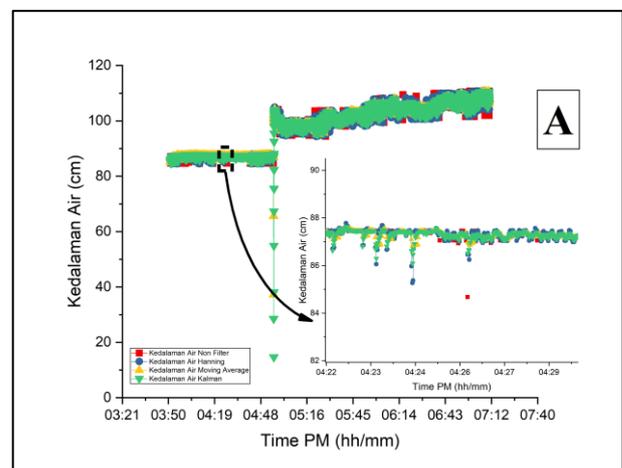
D. Analisis Data Filter Terhadap Perubahan Kondisi Lingkungan

Pada saat pengambilan data terdapat perubahan kondisi lingkungan, yaitu turunnya hujan dengan intensitas cukup tinggi selama beberapa jam. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah objek pengambilan data untuk seluruh metode filter pada kolam ikan nila yang sama serta dilakukan pengambilan data pada waktu yang bersamaan secara serentak. Adapun untuk daftar parameter yang diamati tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter pengamatan

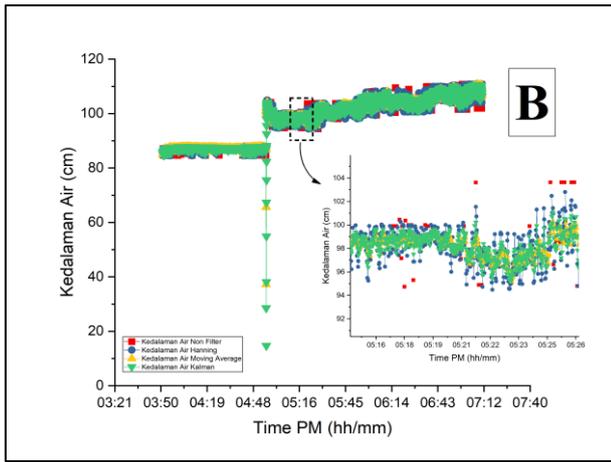
Sensor	Metode Filter	Parameter
HCSR-04	<i>Hanning</i>	Kecepatan respons
DS18B20	<i>Moving average</i>	Peredaman <i>noise</i>
pH 4502-C	<i>Kalman</i>	

1) *Kedalaman Air*: Parameter kedalaman air diukur dengan menggunakan sensor HCSR-04. Sensor ini bekerja dengan cara memantulkan gelombang ultrasonik ke permukaan air dan menghitung jarak melalui durasi waktu pemantulan serta kecepatan gelombang ultrasonik. Hasil perhitungan jarak antara permukaan air akan menjadi nilai pengurang dari total tinggi kolam dan jarak ketinggian sensor dengan permukaan kolam ikan.

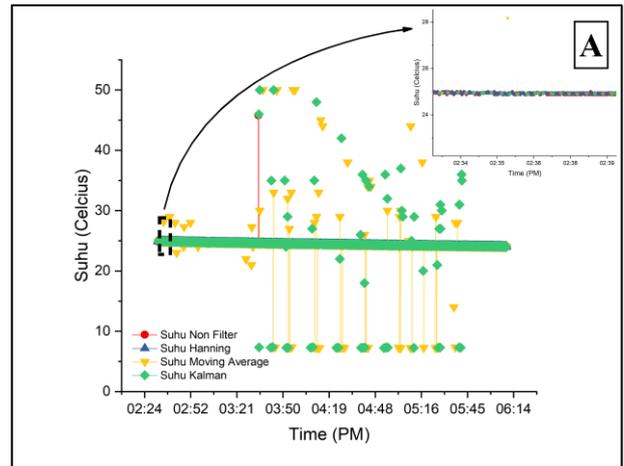


Gambar 10. Grafik kedalaman air sebelum penambahan volume air

Gambar 10 menunjukkan grafik hasil pengukuran ketiga filter dengan grafik A pada kondisi sebelum kenaikan volume air. Volume air meningkat drastis dikarenakan bertambahnya air dari sumber air kolam yang diambil dari sungai. Data yang direpresentasikan dengan garis merah atau pengukuran tanpa filter terdapat beberapa titik yang menandakan *noise* dengan lonjakan nilai yang sangat variatif dan terlampaui jauh.



Gambar 11. Grafik kedalaman air sesudah penambahan volume air



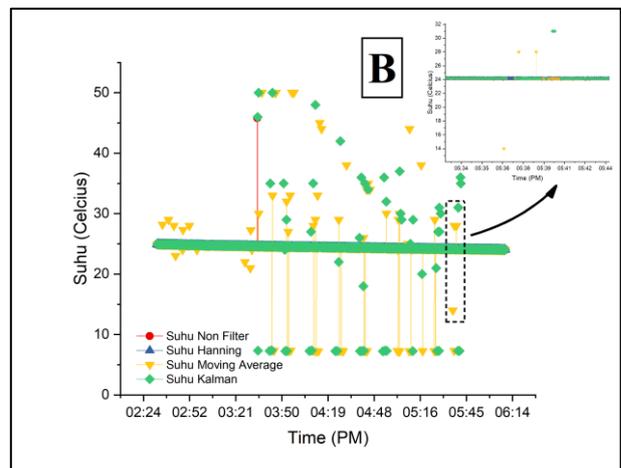
Gambar 12. Grafik suhu sebelum mengalami penurunan

Gambar 11 dengan grafik B adalah sesudah kenaikan volume air. Hasil pengukuran kedalaman air dengan filter Hanning yang berwarna biru memiliki peredaman *noise* namun masih terdapat *noise* yang belum stabil dibanding dengan filter yang lainnya. Namun kecepatan *respons* jauh lebih cepat daripada filter Kalman dan *moving average filter*. Kecepatan *respons* ditentukan dari bentuk grafik hasil filter yang jauh lebih cepat atau lebih awal dalam merespons perubahan data yang masuk dari sensor.

Dari ketiga filter tersebut, dilakukan perbandingan secara perhitungan persentase kesalahan antara data kedalaman air aktual dengan data kedalaman air filter. Persentase kesalahan filter Kalman didapatkan sebesar 0,024%, *moving average filter* sebesar 0,035%, dan filter Hanning sebesar 0,047 %.

2) *Suhu*: Parameter kedalaman air diukur dengan menggunakan sensor DS18B20. Dikarenakan sifat sensor yang anti air, maka sensor langsung dimasukkan ke dalam kolam ikan. Setelah terjadi hujan, suhu air di kolam ikan semakin menurun. Awal mula bernilai 25°C dan terus menurun hingga hampir bernilai 23°C. Berdasarkan grafik A pada Gambar 12, terdapat hasil reaksi filter terhadap perubahan nilai suhu sesaat setelah terjadi hujan. Kemudian untuk penurunan suhu hingga mencapai 23°C. Pada grafik A, grafik pengukuran data tanpa filter tidak mengalami fluktuasi data yang signifikan atau simpangan yang jauh. Gambar 13 dengan grafik B adalah sesudah penurunan suhu air. Berdasarkan data yang didapatkan, nilai pengukuran filter Kalman dan *moving average* terdapat nilai yang *error* karena fluktuasi data dari sensor sangat kecil.

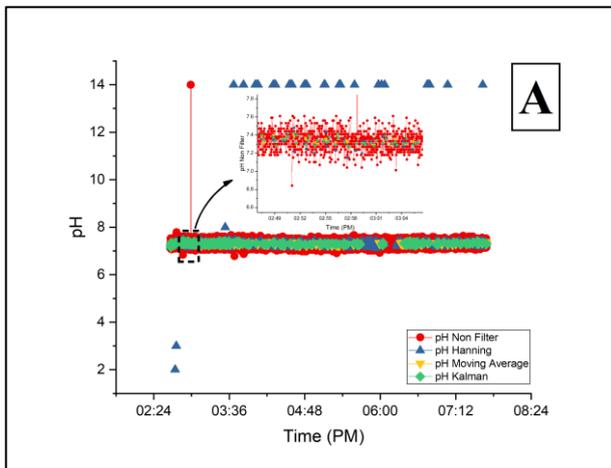
Namun filter Hanning dapat lebih menyesuaikan. Meskipun filter Hanning dapat lebih menyesuaikan, namun hasil pengukurannya tidak jauh berbeda dengan pengukuran tanpa filter. Dari ketiga filter tersebut, dilakukan perbandingan secara perhitungan persentase kesalahan antara data suhu aktual dengan data suhu filter. Persentase kesalahan filter Kalman didapatkan sebesar 0,28%, *moving average filter* sebesar 0,404%, dan filter Hanning 0,084%.



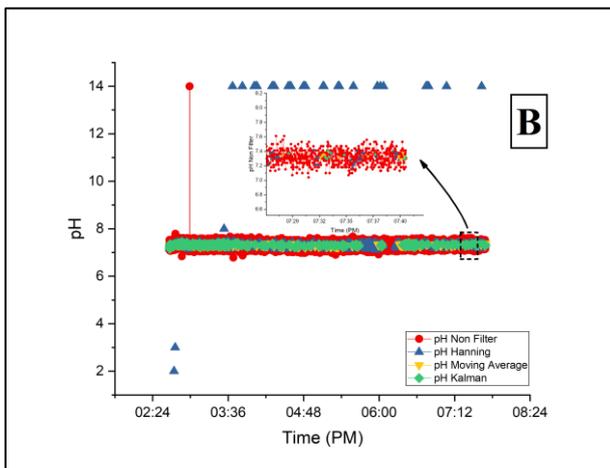
Gambar 13. Grafik suhu sesudah mengalami penurunan

3) *pH*: Parameter pH air kolam ikan diukur dengan menggunakan sensor pH 4502-C. Pada saat terjadinya hujan, nilai pH yang terukur sempat mengalami *error* karna butuh penyesuaian. Akan tetapi setelah melalui penyesuaian selama beberapa detik, pengukuran nilai pH menjadi lebih stabil. Pada saat terjadinya hujan, nilai pH yang terukur sempat mengalami *error* karna butuh penyesuaian. Akan tetapi setelah melalui penyesuaian selama beberapa detik, pengukuran nilai pH menjadi lebih stabil.

Gambar 14 menunjukkan grafik hasil pengukuran ketiga filter dengan grafik A pada kondisi sebelum terjadi hujan dan Gambar 15 dengan grafik B sesudah terjadi hujan. Berdasarkan data yang didapatkan, nilai pengukuran Hasil pengukuran filter Hanning menghasilkan data yang kurang stabil. Hal tersebut dikarenakan sifat karakteristik filter Hanning menyaring *noise* pada bentuk data yang berupa frekuensi sedangkan sensor pH 4502-C menghasilkan data yang tidak berbentuk frekuensi. Hasil pengukuran filter Kalman dan *moving average filter* terbukti dapat meredam *noise* kecuali filter Hanning yang sering terjadi *error*.



Gambar 14. Grafik pH saat terjadi hujan



Gambar 15. Grafik pH sebelum dan sesudah terjadi hujan

Dari ketiga filter tersebut, dilakukan perbandingan secara perhitungan persentase kesalahan antara data pH aktual dengan data pH filter. Persentase kesalahan filter Kalman didapatkan sebesar 0,014%, *moving average filter* sebesar 0,272%, dan filter Hanning 1,364%.

Dari keseluruhan grafik pengukuran data pada Gambar 10 hingga Gambar 15 dilakukan analisis secara perhitungan pada empat jenis data pada setiap grafiknya baik pengukuran kedalaman air, suhu, maupun pH. Tabel 2 menunjukkan perhitungan nilai standar deviasi dari *Kalman Filter*. Berdasarkan nilai standar deviasi, *Kalman Filter* dapat meredam data *noise* yang terjadi pada sensor HCSR-04. Penggunaan *Kalman Filter* yang dapat meredam *noise* juga diimplementasikan pada sensor *fusion*, sensor MPU-6050, dan *node* sensor IoT [13, 14, 15]. Hasil pada ketiga pengimplementasian tersebut adalah filter Kalman dapat meredam adanya kesalahan pengukuran data yang disebabkan oleh adanya *noise* pada pengukuran data melalui sensor tersebut. Hal tersebut juga terbukti pada penelitian ini dengan sensor HCSR-04 dan pH 4502-C.

Tabel 2. Standar deviasi filter Kalman

Jenis	Tanpa Filter	Filter
Kedalaman Air	8,1218	8,0049
Suhu	0,39736	2,7596
pH	0,12823	0,040542

Tabel 3 menunjukkan perhitungan MSE untuk menentukan rata-rata data selisih antara nilai pengukuran tanpa filter dan pengukuran dengan filter untuk metode *moving average filter*. Semakin kecil nilai MSE maka fluktuasi data *noise* akan semakin kecil pula. Penggunaan *moving average filter* dianalisis juga pada mikrokontroler berarsitektur AVR 8-bit [16].

Tabel 3. MSE *moving average filter*

Jenis	Tanpa Filter	Filter
Kedalaman Air	0,042355	0,005082
Suhu	0,09326	0,095041
pH	0,065458	0,062189

Tabel 3 menunjukkan nilai perhitungan *error Hanning Filter* untuk menentukan persentase kesalahan antara pengukuran *Hanning Filter* dengan pengukuran data asli. Semakin kecil nilai *error* maka semakin kecil pula fluktuasi pengukuran yang terjadi.

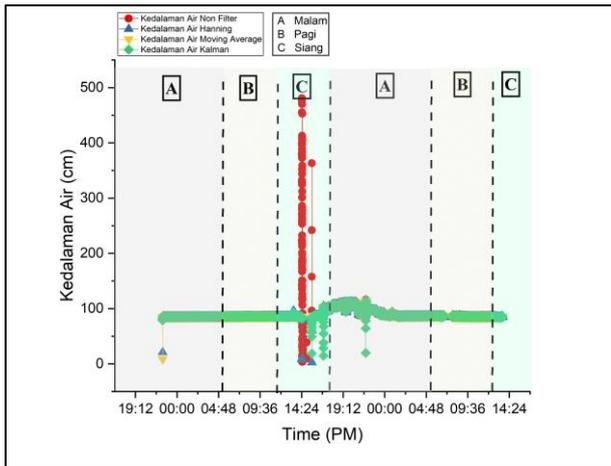
Tabel 4. *Error filter Hanning*

Jenis	Tanpa Filter	Filter
Kedalaman Air	0,2005%	0,1430%
Suhu	1,2582 %	1,2489%
pH	3,7267%	3,8548%

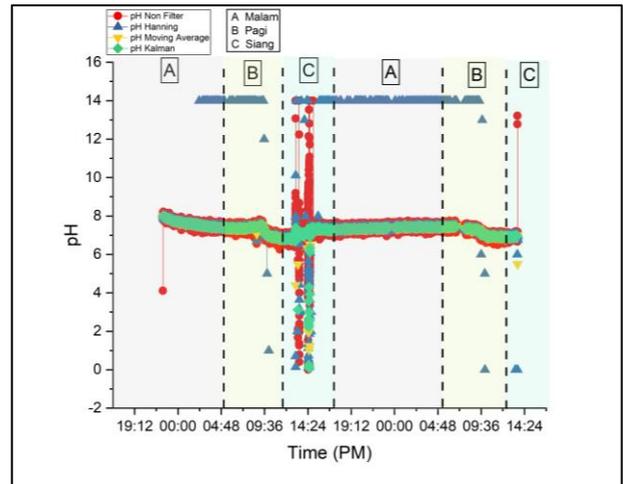
E. Analisis Data Filter Terhadap Perubahan Waktu

Pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 13 terbagi menjadi beberapa bagian antara lain area A merupakan waktu malam hari dari pukul 18.00 WIB hingga 06.00 WIB, area B merupakan waktu pagi hari dari pukul 06.00 WIB hingga 12.00 WIB, dan area C merupakan waktu siang hari dari pukul 12.00 WIB hingga 18.00 WIB.

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 16, pada malam, pagi, hingga siang kedalaman air berada pada nilai yang stabil, yaitu kisaran 85 cm. Akan tetapi pada pukul 14.00 WIB terjadi hujan deras yang mengakibatkan pembacaan *error* sesaat dan bertambahnya volume air kolam. Setelah mengalami kenaikan pada area C hingga area A yang ke 2 namun kedalaman air berangsur menurun hingga pagi dan siang hari. Meskipun sempat terjadi *error* pada saat terjadinya hujan namun ketiga filter dapat menyesuaikan.

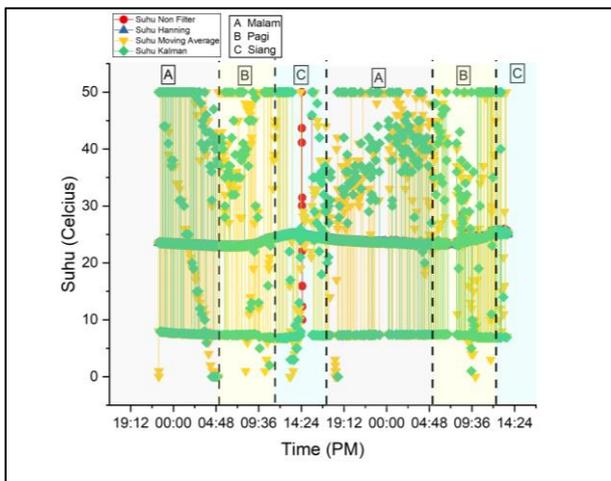


Gambar 16. Data kedalaman air terhadap perubahan waktu



Gambar 18. Data pH terhadap perubahan waktu

Kondisi *error* terjadi hanya beberapa saat dan sensor HCSR-04 dapat secepatnya kembali normal dan stabil untuk mengukur kedalaman air. Melalui data kedalaman air terhadap perubahan waktu, sejatinya ketiga filter dapat meredam *noise* sehingga nilai kedalaman air lebih stabil.



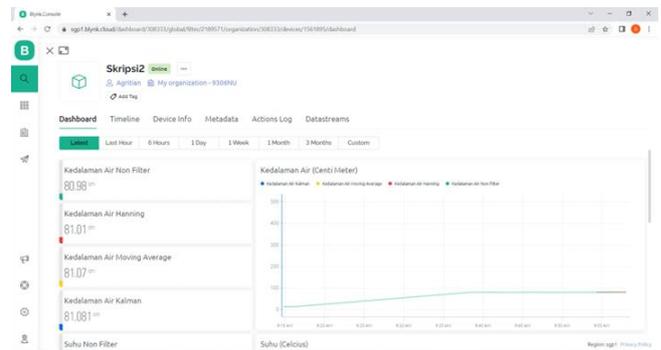
Gambar 17. Data suhu terhadap perubahan waktu

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 17, nilai pengukuran suhu mengalami perubahan terhadap waktu, yakni ketika pagi hari dan malam hari suhu cenderung menurun sedangkan pada siang hari suhu cenderung meningkat. Akan tetapi pengukuran filter Kalman dan *moving average filter* mengalami fluktuasi yang tinggi kecuali filter Hanning meskipun peredamannya sangat sedikit karna sensor DS18B20 memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi.

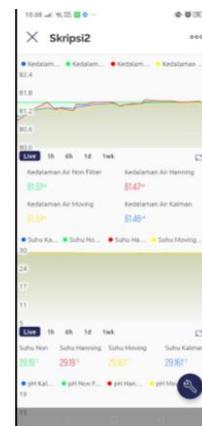
Berdasarkan pengamatan pada Gambar 18, perubahan nilai pH yang terukur oleh sensor pH 4502-C terhadap perubahan waktu sangat bervariasi. Pada malam hari nilai pH cenderung meningkat dan menuju siang hari nilai pH menurun. filter Kalman dan *moving average filter* dapat meredam *noise* lebih baik daripada filter Hanning.

F. Analisis Sistem

Sistem pemantau parameter di kolam ikan dibuat dengan menggunakan sistem IoT. Hasil pengukuran data ditampilkan secara *realtime* untuk nilai digital dan ditampilkan pula melalui grafik. Gambar 19 menunjukkan tampilan pada perangkat komputer dan Gambar 20 menunjukkan tampilan pada gawai.



Gambar 19. Tampilan Blynk pada perangkat komputer



Gambar 20. Tampilan Blynk pada gawai

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi metode filter digital, dapat disimpulkan bahwa sensor HCSR-04 lebih cocok dengan filter Hanning untuk kecepatan *respons* dan *moving average filter* serta filter Kalman untuk meredam *noise*, sensor DS18B20 tidak membutuhkan penambahan filter, dan sensor pH 4502-C dengan *moving average filter* dan filter Kalman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Bapak Nur Rohman Rosyid, S.T., M.T., D.Eng, Ketua Departemen Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, UGM Yogyakarta
2. Bapak Hidayat Nur Isnianto, S.T., M.Eng., Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol, Departemen Teknik Elektro dan Informatika, UGM Yogyakarta

Serta berbagai pihak yang telah membantu dalam keberhasilan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. d. I. S. J. K. K. d. P. Pusat Data, "Rilis Data Kelautan dan Perikanan Triwulan IV Tahun 2022," Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta, 2022.
- [2] D. M. Kelabora, "PENGARUH SUHU TERHADAP KELANGSUNGAN HIDUP DAN PERTUMBUHAN LARVA IKAN MAS (CYPRINUS CARPIO)," *Terubuk*, vol. 38, no. 1, pp. 71-81, 2010.
- [3] O. Z. Arifin, V. A. Prakoso dan B. Pantjara, "KETAHANAN IKAN TAMBAKAN (*Helostoma temminckii*) TERHADAP BEBERAPA PARAMETER KUALITAS AIR DALAM LINGKUNGAN BUDIDAYA," *Jurnal Riset Akuakultur*, vol. 12, no. 3, pp. 241-251, 2017.
- [4] D. Saptarini, "Pola Sebaran Intensitas Cahaya Vertikal Dan Pengaruhnya Terhadap Kelimpahan Serta Keanekaragaman Jenis Fitoplankton Di Perairan Juata Kota Tarakan," Perpustakaan UBT : Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, 2013.
- [5] A. S. Fiddariani dan U. Y. Oktiawati, "Design and Implementation of Temperature and pH Monitoring Tools in Fish Pond Based on Arduino
- [6] R. . A. Anwari dan W. S. Pambudi, "Implementasi Hanning Filter, Kalman Filter dan Moving Average filter pada Pengisian Air Minum Isi Ulang Otomatis," *Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika*, vol. 1, no. 1, pp. 7-12, 2021.
- [7] I. A. Kuncara, J. E. Suseno, A. Setyawan dan I. Gunadi, "Development of Ultrasonic Anemometer Using HC-SR04 with Kalman Filter Based on Microcontroller Integrated IoT," Semarang, Indonesia, 2020.
- [8] X. Zhang, H. Liang, J. Feng dan H. Tan, "Kalman Filter Based High Precision Temperature Data Processing Method," *Frontiers in Energy Research*, vol. 10, no. 832346, pp. 1-7, 2022.
- [9] F. A. Chalifatullah, W. S. Pambudi dan I. Masfufiah, "Implementasi Moving Average dan Kalman Filter pada Wireless Odometer untuk Informasi Service Kendaraan Bermotor," *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, vol. 4, no. 1, pp. 156-164, 2022.
- [10] H. I. Romadhoni, R. Maulana dan E. R. Widasari, "Implementasi Analisis Perbandingan Filter Kalman, Moving Average dan Eksponensial pada Alat Pengukur Kadar Kolesterol berbasis Non-Invasif," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 6, no. 9, pp. 4571-4579, 2022.
- [11] N. Siripool, K. Galajit, J. Karnjana, T. Phatrapornnant dan W. Kongprawechnon, "Canopy Temperature Estimation Using Kalman Filtering with Moving Average Algorithm for Durian Orchard's Monitoring System," dalam *2022 61st Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Japan, 2022.
- [12] T. Iskandar dan H. M. Saputra, "Perbandingan Average Filter dengan Hanning Filter pada Pengolahan Sinyal Load Cell," *Seminar Nasional Itenas, Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*.
- [13] K. Č. M. Mostarac dan K. Miličević, "Impact of Different Noise Distributions in the Application of Kalman Filter in Sensor Fusion," dalam *2022 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)*, Osijek, 2022.
- [14] P. A. Zartika, M. Kusumawardani dan K. Koesmariyanto, "Rancang Bangun Mouse untuk Penyandang Disabilitas Menggunakan Sensor MPU-6050 dengan Metode Kalman Filter sebagai Peredam Noise," *Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, vol. 11, no. 4, pp. 188-194, 2021.
- [15] J. Kwon dan D. Park, "Implementation of computation-efficient sensor network for Kalman filter-based intelligent position-aware application.," dalam *2020 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIC)*, Japan, 2020.