

# PENGEMBANGAN SPEKTROFOTOMETER PORTABEL BERBASIS SENSOR OPT101 UNTUK PEMANTAUAN KADAR AMONIA PADA TAMBAK UDANG VANAME

Raihan Zaenal Mutakin<sup>\*1</sup>, Tri Wahyu Supardi<sup>2</sup>

<sup>1,2,3</sup> Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia  
e-mail: <sup>\*1</sup>[raihan.zaenal.mutakin@mail.ugm.ac.id](mailto:raihan.zaenal.mutakin@mail.ugm.ac.id), <sup>2</sup>[twsupardi@ugm.ac.id](mailto:twsupardi@ugm.ac.id)

## Abstrak

Kualitas air merupakan faktor krusial dalam budidaya udang vaname, terutama kandungan amonia terlarut yang berlebihan dapat menyebabkan stres dan menurunkan produktivitas udang. Salah satu metode yang akurat untuk mengukur kadar amonia adalah metode spektrofotometri. Namun, penggunaan spektrofotometer konvensional umumnya terbatas di laboratorium karena ukurannya yang besar dan tidak portabel, sehingga kurang efisien untuk pemantauan langsung di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan spektrofotometer portabel berbasis sensor OPT101 yang dapat digunakan untuk mendeteksi kadar amonia terlarut dalam air tambak secara langsung dan berkala.

Perangkat yang dirancang menggunakan sistem optik dengan kisi difraksi, lensa, cermin, dan motor stepper sebagai skema pemisahan cahaya (monokromator), lampu halogen sebagai sumber cahaya, sensor OPT101 sebagai detektor intensitas cahaya, dan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama. Sistem ini dilengkapi dengan metode Kalman Filter untuk menyaring fluktuasi data pengukuran. Serangkaian pengukuran dilakukan menggunakan larutan standar amonia dengan rentang 0,1–0,8 ppm untuk menentukan hubungan antara konsentrasi dan absorbansi terukur. Hasilnya menunjukkan hubungan linier yang kemudian dirumuskan dalam bentuk persamaan regresi untuk estimasi konsentrasi amonia. Persamaan tersebut juga digunakan untuk menguji performa sistem dalam pengukuran konsentrasi amonia.

Diperoleh nilai Mean Relative Error (MRE) sebesar 13% dan rata-rata akurasi sebesar 87%. Meskipun akurasi menurun pada konsentrasi di bawah 0,5 ppm, sistem tetap mampu memberikan pengukuran yang konsisten dan dapat digunakan. Pengembangan ini merupakan langkah awal menuju alat pemantauan kualitas air yang real-time, efisien, dan terjangkau untuk kebutuhan akuakultur.

**Kata kunci**—Spektrofotometer, Sensor, OPT 101, Amonia, Tambak Udang, Akuakultur, Kalman Filter, Monokromator.

## Abstract

Water quality plays a critical role in vannamei shrimp farming, especially regarding high levels of dissolved ammonia, which can cause stress and reduce shrimp productivity. Spectrophotometry is one of the most accurate methods for measuring ammonia concentration. However, conventional spectrophotometers are typically limited to laboratory use due to their large size and lack of portability, making them inefficient for direct field monitoring. This study aims to develop a portable spectrophotometer based on

the OPT101 light sensor that can be used to detect dissolved ammonia concentrations in shrimp ponds directly and periodically.

The device is built using an optical system consisting of a diffraction grating, lenses, mirrors, and a stepper motor as a monochromator mechanism, a halogen lamp as the light source, an OPT101 sensor as the light intensity detector, and an ESP32 microcontroller as the main controller. A Kalman Filter is implemented to reduce noise in the measurement data. A series of measurements were conducted using standard ammonia solutions ranging from 0.1 to 0.8 ppm to establish a linear relationship between concentration and absorbance. The resulting regression equation was used to estimate ammonia concentration and evaluate system performance.

The developed system achieved a Mean Relative Error (MRE) of 13% with an average accuracy of 87%. Although the accuracy decreased slightly at concentrations below 0.5 ppm, the device still produced consistent and usable results. This development represents a step forward in creating a real-time, efficient, and affordable water quality monitoring solution for aquaculture applications.

**Keywords**—Spectrophotometer, Sensors, OPT 101, Ammonia, Shrimp Ponds, Aquaculture, Kalman Filter, Monochromator.

## 1. PENDAHULUAN

Keberhasilan budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sangat bergantung pada kualitas air. Salah satu parameter yang perlu dikendalikan adalah kandungan amonia, karena kadar amonia bebas ( $\text{NH}_3$ ) yang tinggi bersifat toksik dan dapat menyebabkan stres, gangguan pertumbuhan, serta meningkatkan risiko kematian udang [2], [4], [9]. Amonia dalam tambak berasal dari sisa pakan, feses, dan ekskresi udang.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas air sangat penting untuk menjaga parameter seperti pH, suhu, salinitas, dan amonia dalam kisaran optimal [10], [15], [17], [24]. Namun, beberapa penelitian masih menggunakan sensor gas seperti MQ-135 yang kurang sesuai untuk pengukuran amonia terlarut dalam air.

Metode spektrofotometri telah terbukti lebih akurat untuk mengukur kadar amonia dalam air, sebagaimana diatur dalam SNI 06-6989-30:2005 dan digunakan secara luas dalam pengujian laboratorium [18]. Prinsip ini biasanya melibatkan reaksi kimia antara amonia dengan suatu reagen untuk menghasilkan senyawa berwarna yang kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer [12], [21].

Namun, penggunaan spektrofotometer konvensional memiliki keterbatasan, seperti ukuran besar dan biasanya membutuhkan listrik AC. Hal ini menyulitkan pemantauan langsung di tambak, terutama di daerah terpencil. Oleh karena itu, diperlukan inovasi berupa spektrofotometer portabel yang mampu digunakan di lapangan secara cepat, efisien, dan tetap akurat.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem spektrofotometer portabel berbasis sensor OPT101 yang dapat digunakan untuk mendeteksi kadar amonia secara langsung di tambak. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis dalam mendukung keberlanjutan akuakultur melalui pemantauan kualitas air yang lebih efektif dan terjangkau.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan dan Peralatan

Tabel 1 menunjukkan beberapa perangkat yang digunakan untuk mendukung pengembangan penelitian ini, dan tabel 2 menunjukkan bahan-bahan yang digunakan.

Tabel 1 Komponen sistem

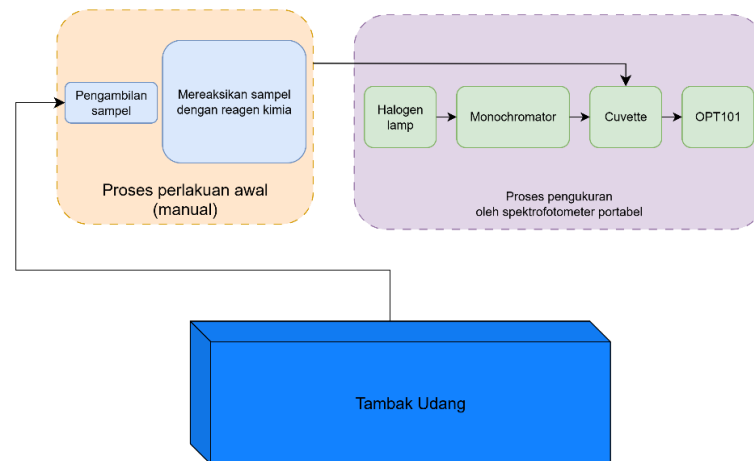
No.	Nama	Kegunaan
1.	Laptop	Perangkat keras utama untuk mengembangkan sistem.
2.	Solder	Untuk memasang komponen pada PCB
3.	Multimeter	Melakukan pengukuran tegangan, arus, dan <i>troubleshooting</i>

Tabel 2 Bahan-bahan yang dibutuhkan

No.	Nama	Kegunaan
1.	ESP32	Mengendalikan motor stepper dan memproses data dari sensor serta menghubungkan dengan komponen lainnya.
2.	OPT 101	Digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya yang melewati kuvet.
3.	NEMA 17	Untuk menyesuaikan sudut hasil difraksi cahaya
4.	A4988	Driver untuk mengendalikan dan mengkonfigurasi step dari motor stepper
5.	Kisi Difraksi	Mengurai cahaya dari lampu halogen menjadi cahaya monokromatis
6.	Lensa	Memfokuskan cahaya
7.	Lampu halogen	Sumber cahaya polikromatis
8.	Kuvet	Tempat sampel untuk dilewatkan cahaya monokromatis

### 2.2 Proses sistem pengukuran pada tambak

Dalam mengukur konsentrasi ammonia sistem memiliki dua proses utama yaitu proses perlakuan awal sampel dan proses pengukuran sampel. Tahap pertama adalah proses perlakuan awal terhadap sampel yang akan diukur, proses ini melibatkan pengambilan sampel, penambahan reagen pada sampel, lalu mencampurkan reagen dengan sampel. Semua proses ini dilakukan secara manual. Proses kedua adalah pengukuran konsentrasi oleh sistem, pada proses ini sampel akan diukur nilai konsentrasinya dalam sistem. Pada gambar 1 adalah bagaimana proses sistem dalam mengukur ammonia terlarut dalam tambak udang vaname.



Gambar 1 Proses mengukur konsentrasi amonia

### 2.2.1 Perlakuan awal

Pada proses perlakuan awal, dilakukan preparasi sampel sebelum dimasukkan ke dalam sistem dengan tata cara sebagai berikut:

1. Ambil sampel air tambak udang sebanyak 5 mL
2. Masukkan ke dalam tabung atau gelas reaksi
3. Teteskan reagen 1 sebanyak 4 tetes lalu aduk
4. Teteskan reagen 2 sebanyak 4 tetes lalu aduk
5. Tunggu sampel bereaksi selama kurang lebih 10 menit
6. Sampel siap dimasukkan ke dalam sistem.

Reagen yang digunakan dalam penelitian ini adalah reagen kit yang terdapat di pasaran dengan merek monitor.

### 2.2.2 Pengukuran

Setelah dilakukan proses perlakuan awal, maka sampel siap untuk dimasukkan ke dalam sistem untuk dilakukan pengukuran konsentrasi amonia terlarut dengan cara sebagai berikut:

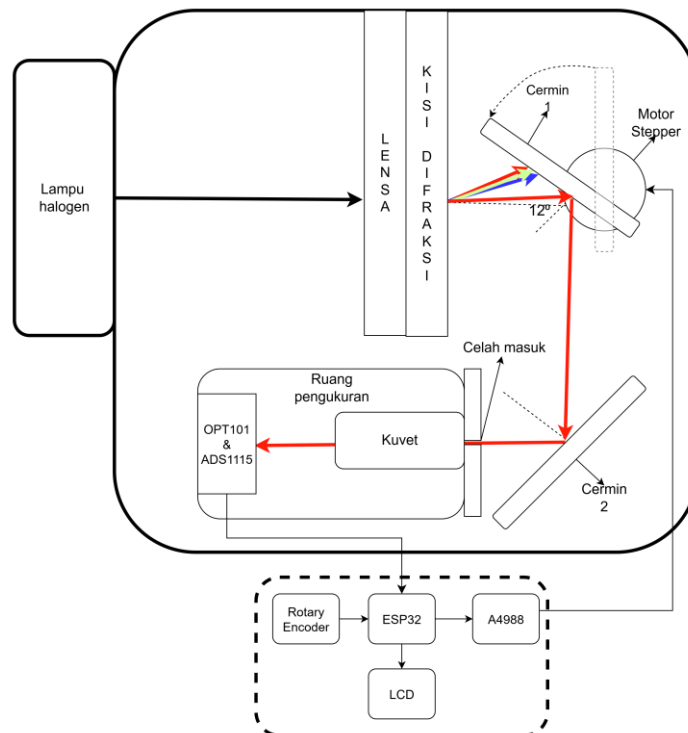
1. Masukkan sampel hasil reaksi ke dalam kuvet kosong
2. Nyalakan sistem dan lampu halogen
3. Ukur nilai blanko dengan memilih menu Blanko Measurement
4. Ukur nilai Konsentrasi dengan memilih menu Conc Measurement
5. Hasil pengukuran konsentrasi akan tampil pada layar LCD.

Pada proses pengukuran, cahaya akan dilewatkan pada sebuah celah masuk berukuran kecil untuk memastikan satu sudut cahaya datang, kemudian cahaya melewati kisi difraksi yang membuat cahaya terurai menjadi cahaya-cahaya penyusunnya. Cahaya-cahaya tersebut menempati sudut difraksi yang berbeda-beda, sedangkan dalam metode spektrofotometri hanya satu cahaya monokromatik yang dilewatkan pada sampel. Oleh karena itu, untuk menempatkan satu cahaya monokromatik yang dapat melewati celah, digunakan skema monokromator yang akan dijelaskan dalam rancangan sistem.

### 2.3 Rancangan Perangkat Keras

Sistem spektrofotometer portabel yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama: sumber cahaya (lampu halogen), sistem optik (monokromator berbasis motor stepper, cermin, dan kisi difraksi), detektor cahaya (sensor OPT101), serta pengendali utama (ESP32). Alur sistem secara umum adalah: cahaya dari lampu halogen dilewatkan ke kisi difraksi, dipantulkan oleh cermin 1 yang dikendalikan oleh motor stepper untuk memilih panjang gelombang, kemudian diteruskan ke sampel hingga mengenai sensor OPT101.

Cahaya yang ditransmisikan diukur intensitasnya oleh OPT101. Cahaya yang terdeteksi oleh OPT101 akan direspon sebagai keluaran analog. Keluaran analog dari OPT101 dikonversi menjadi nilai digital oleh Analog to Digital Converter (ADC) eksternal 16-bit yaitu ADS1115. Hasil konversi digital tersebut lalu dikirimkan ke ESP32 untuk diolah agar data tersebut dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi sampel amonia. Pada gambar 2 adalah rancangan perangkat keras sistem.



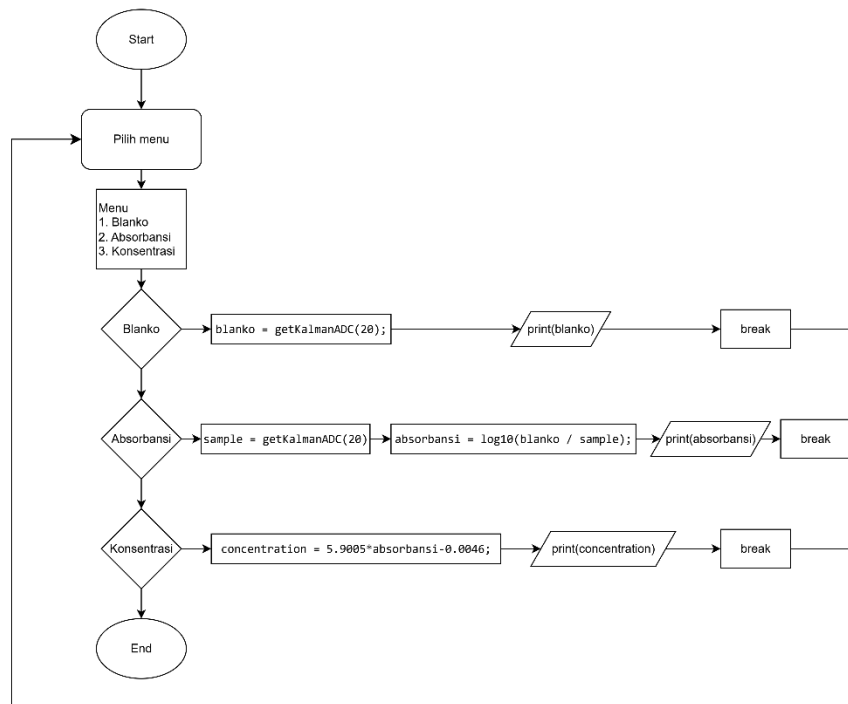
Gambar 2 Rancangan perangkat keras

Rancangan optik ini dibuat untuk mengarahkan cahaya dengan panjang gelombang 700 nm yang mengalami difraksi pada sudut  $12^\circ$ . Skema pemantulan dirancang menggunakan prinsip geometri pemantulan pada cermin datar, di mana sudut datang sama besar dengan sudut pantul terhadap garis normal cermin. Dengan prinsip ini, posisi dan orientasi cermin dapat disesuaikan agar sinar hasil difraksi diarahkan secara tepat menuju sensor atau celah masuk. Skema yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, memungkinkan pemilihan dan pelolosan cahaya hasil difraksi dari panjang gelombang 400 hingga 700 nm pada orde pertama difraksi ( $m = 1$ ). Rentang ini mencakup spektrum tampak yang diperlukan dalam pengukuran absorbansi.

Pemilihan panjang gelombang 700 nm sebagai acuan awal dalam perancangan didasarkan pada pertimbangan geometri sistem optik. Panjang gelombang ini mewakili batas atas dari spektrum tampak yang digunakan (400–700 nm), sehingga jika cahaya 700 nm sudah berhasil diarahkan dan melewati ruang pengukuran dengan tepat, maka panjang gelombang yang lebih pendek (di bawah 700 nm) dapat disesuaikan hanya dengan mengatur ulang sudut cermin 1. Dengan pendekatan ini, perancangan sistem menjadi lebih efisien karena hanya perlu memastikan satu konfigurasi ekstrem terlebih dahulu, kemudian dilakukan penyesuaian bertahap untuk panjang gelombang lainnya dalam rentang yang diinginkan.

#### 2.4 Rancangan perangkat lunak

Agar sistem dapat melakukan pengukuran dan lain-lain, maka perlu dibuat sebuah program software untuk dijalankan oleh ESP32. Program tersebut memiliki diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3 Diagram alir perangkat lunak

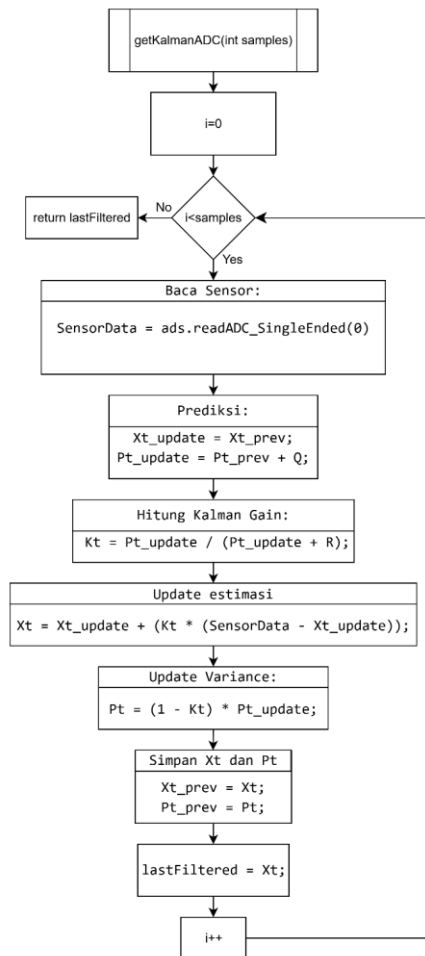
Pada menu blanko, kuvet kosong dimasukkan ke sistem, lalu sensor OPT101 membaca nilai digital sebanyak 20 kali menggunakan fungsi `getKalmanADC(20)`, dengan setiap pembacaan difilter oleh Kalman filter untuk menghasilkan nilai stabil yang disimpan sebagai blanko.

Pada menu absorbansi, kuvet berisi sampel dimasukkan ke sistem dan dibaca dengan cara yang sama. Nilai yang diperoleh disimpan sebagai sampel, lalu dihitung nilai absorbansinya dengan rumus:  $\text{Absorbansi} = \log_{10}(\text{blanko} / \text{sampel})$ , Hasil ditampilkan di LCD.

Pada menu konsentrasi, sistem menghitung konsentrasi menggunakan persamaan regresi berdasarkan hubungan absorbansi dan konsentrasi yang akan diperoleh nantinya, lalu menampilkan hasilnya di LCD.

#### 2.4.1 Kalman Filter

ADC eksternal 12-bit digunakan untuk mengubah tegangan dari sensor OPT101 menjadi data digital dengan resolusi tinggi, sehingga mampu mendeteksi perubahan tegangan kecil yang mencerminkan akurasi pengukuran konsentrasi amonia rendah. Kalman filter digunakan untuk mengolah data guna mengurangi gangguan dari fluktuasi cahaya, tegangan, suhu, dan difraksi. Filter bekerja dengan mengestimasi nilai sebenarnya dari data yang terpengaruh noise melalui mekanisme umpan balik. Pada gambar 4 adalah diagram alir Kalman filter dalam melakukan filter data sensor.



Gambar 4 Diagram alir kalman filter

Dalam kalman filter terdapat dua tahap utama persamaan, yaitu *prediction* dan *correction phase*. Persamaan Kalman filter yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Prediksi *state*  

$$\hat{x}_{n+1,n} = \hat{x}_{n,n}$$
2. Prediksi *covariance error*.  

$$P_{n+1,n} = P_{n,n} + Q$$
3. Kalman *gain*  

$$K_n = P_{n,n} - (P_{n,n} + R_n)^{-1}$$
4. *Update state* dengan observasi  

$$\hat{x}_{n,n} = \hat{x}_{n,n-1} + K_n(Z_n - \hat{x}_{n,n-1})$$
5. *Update covariance error*  

$$P_{n,n} = (I - K_n)P_{n,n-1}$$

### 2.5 Merumuskan absorbansi sampel dengan respon OPT101

Berdasarkan hukum lambert-beer, absorbansi suatu larutan sampel dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = \varepsilon \cdot c \cdot d$$

$$A = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) \quad (1)$$

Berdasarkan rumus (1) di atas, nilai absorbansi sampel amonia dapat diketahui dengan menggunakan sensor OPT101. Sensor OPT101 dapat mengubah intensitas cahaya yang mengenai sensor menjadi besaran tegangan. Nilai tegangan tersebut dikonversi ke dalam nilai digital oleh ADS1115. Nilai digital ini yang digunakan untuk menentukan absorbansi dengan mengubah  $I_0$  dan  $I$  menjadi nilai digital yang terbaca. Sehingga rumus untuk mencari absorbansi adalah:  $A = \log_{10} \left( \frac{ADC_{blanko}}{ADC_{sampel}} \right)$ . ADCblanko adalah respon tegangan sensor OPT101 yang telah dikonversi oleh ADC eksternal. ADCblanko diperoleh ketika cahaya ditransmisikan pada larutan blanko. Sedangkan, ADCsampel adalah respon tegangan sensor OPT101 yang telah dikonversi oleh ADC eksternal. ADCsampel diperoleh ketika cahaya ditransmisikan pada larutan blanko.

## 2.6 Pengumpulan data

### 2.6.1 Posisi sudut motor stepper dan konsistensi cahaya

Pada tahap ini, dilakukan percobaan dengan tujuan untuk mencari tahu apakah dengan sudut motor stepper yang sama, akan menghasilkan cahaya yang sama pula. Dengan mengatur posisi dari  $0^\circ$  menjadi  $-50,63^\circ$  beberapa kali. Lalu dilihat cahaya seperti apa yang masuk ke dalam ruang pengukuran. Jika warna cahaya yang masuk konsisten, maka posisi sudut motor stepper dapat mewakili panjang gelombang cahaya yang masuk.

### 2.6.2 Posisi sudut motor stepper yang merespon konsentrasi ammonia

Jika posisi sudut motor stepper sudah terkonfirmasi dapat mewakili panjang gelombang cahaya yang masuk ke dalam ruang pengukuran, maka setiap perpindahan sudut motor stepper yang berbeda dapat mewakili panjang gelombang yang berbeda pula. Pada tahap ini, dilakukan pencarian posisi sudut motor stepper mana yang dapat merespon absorbansi tertinggi ketika larutan amonia 1 ppm dimasukkan ke dalam sistem. Sudut tersebut akan digunakan untuk eksperimen hubungan konsentrasi dengan absorbansi berikutnya.

Pada perangkat ini, motor stepper NEMA 17 dalam konfigurasi *micro-stepping* 1/16 digunakan bersama cermin 1 untuk menggerakkan sudut cermin 1. Pengaturan sudut dilakukan dengan presisi  $0,1125^\circ$  per langkah dari  $0^\circ$  hingga  $-70^\circ$ . Per langkah motornya akan dihitung absorbansi dari larutan amonia konsentrasi 1 ppm. Data posisi sudut dan absorbansi akan dicatat dan diplot untuk mendapatkan grafiknya. Gambar 4.6 adalah Diagram alir untuk menentukan absorbansi tertinggi 1 ppm amonia

### 2.6.3 Mencari hubungan konsentrasi larutan dengan absorbansi

Pada tahap ini, sudut cermin 1 akan diatur sesuai dengan sudut absorbansi tertinggi yang telah diperoleh sebelumnya, sehingga cahaya yang masuk adalah cahaya dengan panjang gelombang tetap. Data dikumpulkan melalui metode eksperimen dengan variasi konsentrasi larutan amonia standar. Amonia pada rentang konsentrasi 0,1 ppm hingga 1 ppm akan digunakan untuk mengumpulkan data respon sensor terhadap variasi konsentrasi amonia. Setiap konsentrasi amonia yang dibuat, akan dicari absorbansinya masing-masing. Setelah didapatkan data absorbansi masing-masing konsentrasi, data tersebut akan digunakan untuk mencari hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi amonia dengan cara analisis regresi, sehingga akan didapatkan persamaan regresi hubungan antara nilai absorbansi yang dibaca sensor dengan konsentrasi amonia. Persamaan ini juga akan digunakan untuk pengujian error dan akurasi sistem.

### 2.7 Pengujian Sistem

Setelah sistem dan model fungsi selesai dibangun, uji performa sistem dilakukan menggunakan kumpulan sampel uji dengan konsentrasi amonia yang telah diketahui. Proses pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat error dan akurasi. Data hasil pengujian akan dibandingkan dengan nilai sebenarnya untuk menghitung performa tersebut. Analisis hasil dilakukan menggunakan perangkat lunak pengolah data, yaitu Microsoft Excel, untuk memastikan perhitungan berjalan dengan tepat dan efisien. Tabel berikut menyajikan data pengujian performa sistem.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

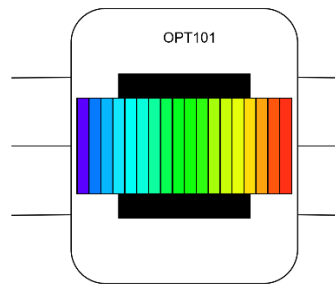
### 3.1 Selektor warna cahaya (Monokromator)

Berdasarkan implementasi dari skema monokromator yang diajukan sebelumnya, didapat satu warna cahaya yang melewati celah ruang pengukuran. Warna cahaya yang masuk berubah-ubah sesuai dengan perubahan posisi motor stepper. berikut adalah gambar beberapa warna cahaya yang melewati celah ruang pengukuran.



Gambar 5 Cahaya monokromatis

Pada gambar 5 dapat dilihat hanya satu warna cahaya saja yang masuk ke dalam ruang pengukuran, satu cahaya seperti ini yang dapat digunakan untuk menghitung absorbansi larutan amonia. Namun, skema ini menghasilkan cahaya yang tidak mengenai pada satu titik saja di permukaan sensor. Cahaya dengan warna yang berbeda, terdapat pada titik yang berbeda pula. Semakin jauh detektor dari cermin 2, semakin berjauhan titik cahaya yang mengenai permukaan sensor. Hasil posisi warna yang berbeda dalam penelitian ini digambarkan dengan gambar 6

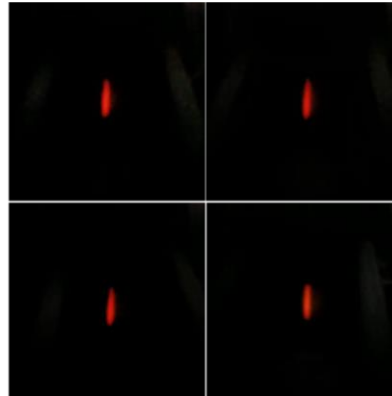


Gambar 6 Letak masing-masing cahaya pada sensor OPT101

Walaupun cahaya yang jatuh pada sensor hanya satu warna atau satu panjang gelombang saja, tetapi cahaya yang tidak pas mengenai sensor tentu saja akan menyebabkan respon yang kurang baik dibandingkan dengan cahaya yang tepat mengenai *chip* sensornya.

### 3.2 Posisi sudut motor stepper dan konsistensi cahayanya

Untuk mengetahui apakah perpindahan sudut yang sama menghasilkan cahaya yang sama pula, maka dilakukan eksperimen perpindahan sudut  $-50,63^\circ$  dari posisi awal sebanyak 4 kali. Hasilnya dapat dilihat pada gambar berikut



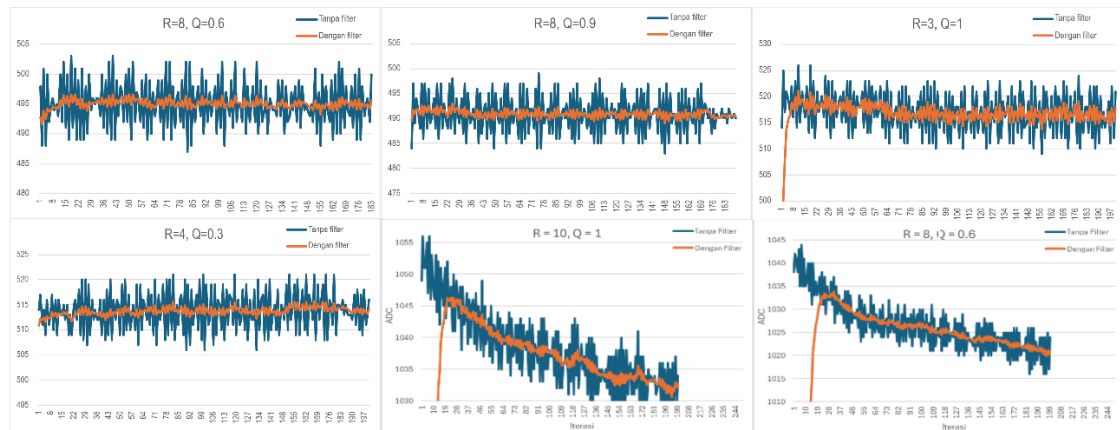
Gambar 7 Konsistensi cahaya

Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa dengan posisi sudut motor stepper dan cermin 1 yang sama menghasilkan cahaya dengan warna (panjang gelombang) yang sama pula. Dari hasil konsistensi warna cahaya tersebut, maka cahaya dengan panjang gelombang tertentu dapat diwakili dengan posisi sudut cermin 1 dan motor stepper dalam sistem.

Namun, nilai tepatnya panjang gelombang cahaya belum dapat ditentukan secara akurat karena keterbatasan alat yang akurat untuk mengukur panjang gelombang cahaya. Secara pengamatan visual warna cahaya ini tampak berwarna merah-oranye, yang kemungkinan memiliki panjang gelombang pada kisaran 640 nm.

### 3.3 Hasil Kalman filter

Berikut pada gambar 8 adalah hasil dari implementasi kalman filter pada sistem ketika posisi sudut konstan, atau menggunakan warna cahaya yang tetap.

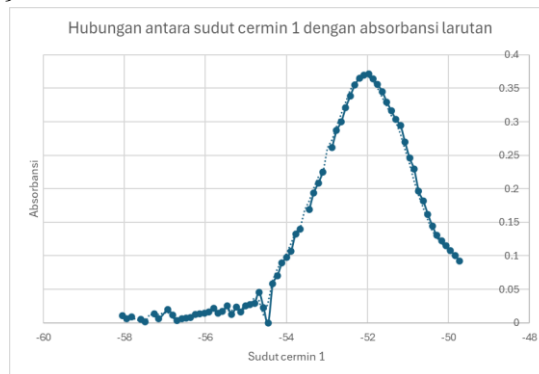


Gambar 8 Hasil kalman filter

Dari beberapa kali percobaan, kalman filter dengan parameter  $R=8$  dan  $Q=0,9$  menunjukkan hasil yang lebih stabil. Menghasilkan standar deviasi sebesar 0,78 dari nilai standar deviasi sebelum difilter adalah sebesar 4. Pada beberapa percobaan, nilai pembacaan sensor OPT101 semakin menurun. Ini menunjukkan lampu halogen semakin lama digunakan, intensitasnya semakin menurun.

### 3.4 Posisi sudut motor stepper yang merespon konsentrasi larutan amonia 1 ppm

Hasil respon absorbansi larutan amonia 1 ppm didapatkan setelah melakukan uji coba pengukuran dengan memvariasikan posisi motor stepper dari  $0^\circ$  hingga  $-70^\circ$ . Hasilnya ditunjukkan pada gambar 9



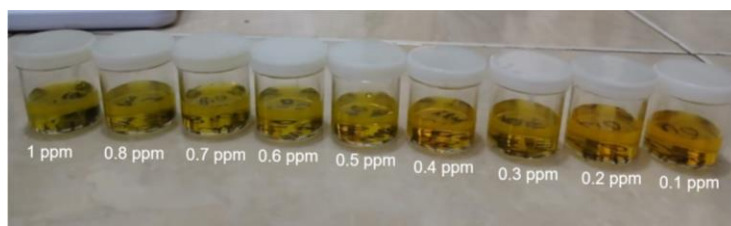
Gambar 9 Sudut cermin 1 terhadap absorbansi larutan

Absorbansi tertinggi didapat pada sudut  $-51,975^\circ$  dengan nilai absorbansi sebesar 0,371. Nilai sudut yang didapat akan digunakan untuk mengukur konsentrasi amonia dalam rentang 0-1 ppm.

### 3.5 Hubungan absorbansi dengan konsentrasi ammonia

#### 3.5.1 larutan kerja amonia

Larutan kerja amonia yang telah dibuat untuk mencari hubungan absorbansi dengan konsentrasi amonia dapat dilihat pada gambar 10

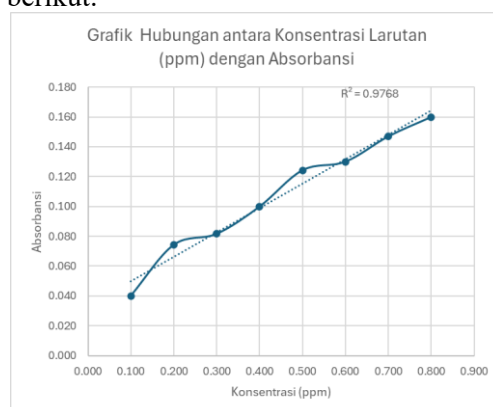


Gambar 10 Larutan kerja amonia

Pada gambar 10 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi amoniannya, semakin berwarna hijau pekat larutannya. Konsentrasi yang rendah pada 0,2 ppm dan 0,1 ppm menghasilkan warna kuning yang tidak terlalu menunjukkan perubahan warna yang signifikan secara visual.

### 3.5.2 Persamaan regresi dan grafik hubungan absorbansi dengan konsentrasi

Setelah dilakukan percobaan dan penyesuaian data-data yang digunakan, didapat grafik dan persamaan regresi sebagai berikut:



Gambar 11 Grafik relasi antara konsentrasi dan absorbansi

Nilai  $R^2$  yang diperoleh pada regresi linear antara konsentrasi larutan amonia terhadap absorbansi adalah sebesar 0,9768. Nilai tersebut menunjukkan model regresi linear yang digunakan memiliki tingkat linearitas yang baik, dengan sekitar 97,68% variabel konsentrasi dapat dijelaskan oleh variabel absorbansi dalam suatu model regresi. Hal ini menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi bersifat linear pada rentang pengukuran yang digunakan, sehingga persamaan regresi yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi amonia dari nilai absorbansi sampel dengan tingkat kepercayaan yang cukup tinggi. Meskipun demikian, masih terdapat sekitar 2,32% variasi data yang tidak dijelaskan oleh model linear ini, yang dapat disebabkan oleh faktor error sensor, kondisi pengukuran, reaksi reagen dengan sampel yang tidak stabil, atau variasi kecil pada pembuatan larutan standar. Secara keseluruhan, nilai  $R^2$  ini menunjukkan bahwa metode regresi yang digunakan dalam penelitian ini telah memadai untuk mendukung analisis konsentrasi amonia menggunakan metode spektrofotometri.

Dari data-data yang diperoleh, dapat dirumuskan hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi larutan amonia sebagai berikut:

$$c = 5,9734 \cdot A - 0,1899$$

C : Konsentrasi sampel  
A : Nilai absorbansi yang terbaca

### 3.6 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui akurasi sistem dengan membandingkan konsentrasi aktual (ppm) dan konsentrasi hasil pengukuran (ppm) pada beberapa sampel uji. Data pengujian dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil pengujian sistem dalam mengukur konsentrasi amonia

Konsentrasi Aktual (ppm)	Konsentrasi Pengukuran (ppm)					Akurasi rata-rata per konsentrasi
1.00	0.93	0.93	0.94	0.93	0.95	93%
0.60	0.64	0.60	0.63	0.57	0.53	93%
0.50	0.55	0.48	0.49	0.48	0.41	94%
0.20	0.25	0.21	0.23	0.14	0.25	79%
0.10	0.10	0.06	0.07	0.10	0.06	77%
MAE	MRE		Akurasi rata-rata			
0.04	13%		87%			

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0,04 ppm, Mean Relative Error (MRE) sebesar 13%, dan akurasi rata-rata sebesar 87% pada alat yang bekerja di rentang konsentrasi 0,1–1 ppm. Nilai MAE sebesar 0,04 ppm menunjukkan bahwa secara rata-rata, deviasi absolut hasil pengukuran alat dari nilai aktual berada pada 0,04 ppm. Secara absolut, nilai ini cukup kecil. Namun, dalam rentang konsentrasi rendah, nilai ini memberikan dampak error relatif yang cukup besar, terutama pada konsentrasi mendekati 0,1 ppm dengan error relatif hingga 40%. Hal ini tercermin pada nilai akurasi rata-rata pada konsentrasi < 0,5 ppm yang menunjukkan penurunan nilai akurasi.

### 3.7 Hasil pengukuran pada tambak

Hasil pengukuran pada tambak udang dapat dilihat pada gambar 12. Hasil pengukuran tersebut menggunakan persamaan relasi antara konsentrasi dan absorbansi larutan amonia yang telah didapatkan sebelumnya.



Gambar 12 Hasil pengukuran pada tambak

Pada hasil tersebut, nilai konsentrasi yang didapat menunjukkan angka minus, hal ini bisa terjadi karena persamaan yang diterapkan pada sistem adalah hasil dari eksperimen menggunakan larutan standar tanpa adanya nilai kekeruhan. Sedangkan pada tambak terdapat nilai kekeruhan yang mempengaruhi nilai absorbansi dan pengukuran amonia. Meski begitu, nilai yang dihasilkan berulang pada nilai -0.19 ppm menunjukkan alat dapat menghasilkan nilai yang konsisten.

Untuk menemukan persamaan konsentrasi yang dapat digunakan pada tambak, perlu dilakukan eksperimen dengan menggunakan sampel air yang memiliki nilai variabel kekeruhan. Karena kekeruhan air memberikan kontribusi penyerapan cahaya, sehingga persamaan eksperimen menggunakan larutan standar sebelumnya kurang cocok jika langsung diterapkan

pada tambak udang. Sehingga akan lebih baik jika pengambilan data diambil dengan memperhatikan bagaimana respon absorbansi sistem ketika nilai kekeruhannya berbeda-beda dengan konsentrasi yang berbeda-beda pula.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, sistem spektrofotometer portabel berbasis sensor OPT101 yang dikembangkan berhasil mendeteksi kadar amonia terlarut dengan performa yang cukup baik. Hubungan linier antara absorbansi dan konsentrasi amonia memiliki nilai  $R^2$  sebesar 97,68%, menunjukkan kualitas regresi yang cukup tinggi. Nilai MAE sebesar 0,04 ppm dan MRE sebesar 13% menunjukkan deviasi pengukuran yang masih dapat diterima untuk pemantauan lapangan. Meskipun sistem menunjukkan performa yang baik pada kondisi pengujian laboratorium (dengan menggunakan air suling dan larutan amonia standar), penerapannya langsung di tambak udang masih memerlukan penyesuaian. Hal ini karena terdapat parameter lain dalam air tambak yang dapat memengaruhi pembacaan absorbansi.

#### 5. SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya:

1. Penyesuaian regresi berdasarkan kondisi nyata tambak, dengan menambahkan variabel lain yang dapat memengaruhi pengukuran absorbansi pada lapangan seperti kekeruhan untuk menemukan persamaan konversi absorbansi menjadi konsentrasi yang relevan digunakan pada tambak,
2. Posisi kemiringan sudut pada celah ruang pengukuran diatur sedemikian agar cahaya monokromatis dapat masuk dan tepat mengenai pada chip sensor OPT101 secara 0 derajat.
3. Untuk meningkatkan performa sistem dalam mengukur larutan dengan konsentrasi rendah, dapat dengan memilih sensor yang memiliki sensitivitas tinggi agar perubahan intensitas kecil dapat terukur oleh sensor.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Andriyawan, "Rancang Bangun Pengaturan Pakan pada Model Tambak secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATMEGA32," 2013.
- [2] Z. Arifin et al., "Penerapan Best Management Practices (BMP) pada Budidaya Udang Windu (*Penaeus monodon* Fabricius) Intensif," 2007.
- [3] C. A. De Caro, M. Toledo, and H. Claudia, "UV/VIS Spectrophotometry - Fundamentals and Applications," 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/321017142>
- [4] R. M. Durborow, D. M. Crosby, and M. W. Brunson, "Nitrite in Fish Ponds," 1997.
- [5] N. C. Ferreira, C. Bonetti, and W. Q. Seiffert, "Hydrological and Water Quality Indices as management tools in marine shrimp culture," *Aquaculture*, vol. 318, no. 3–4, pp. 425–433, 2011, doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.05.045.
- [6] V. Firmansyah, "Aplikasi Kalman Filter pada Pembacaan Sensor Suhu," 2018.
- [7] M. G. Frías-Espericueta, M. Harfush-Melendez, and F. Páez-Osuna, "Effects of ammonia on mortality and feeding of postlarvae shrimp *Litopenaeus vannamei*," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 65, no. 1, pp. 98–103, 2000, doi: 10.1007/s001280000100.
- [8] D. González-Morales et al., "Development of a low-cost UV-Vis spectrophotometer and its application for the detection of mercuric ions assisted by chemosensors," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 3, 2020, doi: 10.3390/s20030906.
- [9] J. A. Hargreaves, "Ammonia Dynamics in Fish Ponds," 2004.
- [10] A. M. Hendri, H. Zarory, and A. Faizal, "Alat Monitoring Kadar Amonia dan Pengontrolan pH pada Kolam Ikan Lele Berbasis IoT," *BRILIANT: Jurnal Riset dan Konseptual*, vol. 8, no. 1, pp. 272–280, 2023, doi: 10.28926/briliant.v8i1.

- [11] S. C. Hung, C. C. Lu, and Y. T. Wu, "An investigation on design and characterization of a highly selective led optical sensor for copper ions in aqueous solutions," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, 2021, doi: 10.3390/s21041099.
- [12] A. Irawan, *Indonesian Journal of Laboratory*, vol. 1, no. 2, 2019.
- [13] P. Kusriani, G. Wiranto, I. Syamsu, and L. Hasanah, "Sistem Monitoring Online Kualitas Air Akuakultur untuk Tambak Udang Menggunakan Aplikasi Berbasis Android," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 16, no. 2, pp. 25–32, 2016, doi: 10.14203/jet.v16.25-32.
- [14] Y. Nan, M. Xiao, Y. Duan, and Y. Yang, "Toxicity of Ammonia Stress on the Physiological Homeostasis in the Gills of *Litopenaeus vannamei* under Seawater and Low-Salinity Conditions," *Biology*, vol. 13, no. 4, 2024, doi: 10.3390/biology13040281.
- [15] M. A. Nugroho, "Sistem Kontrol dan Monitoring Kadar Amonia," 2018.
- [16] A. Nur, "Ketahui 5 Cara Mengendalikan Amonia pada Tambak Udang," 2023. [Online]. Available: <https://efishery.com/id/resources/amonias-pada-tambak-udang/>
- [17] D. Rosandi, D. K. Apriyanto, and A. Surtono, "Design of Water Quality Monitoring System for Koi Fish Farming Using NodeMCU ESP32 and Blynk Application Based on Internet of Things," vol. 4, no. 1, 2023.
- [18] N. P. Sari, "Verifikasi Metode Uji Amoniak (NH<sub>3</sub>) dalam Air Sungai secara Spektrofotometri UV-Vis di Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Yogyakarta," *Laporan Tugas Akhir*, 2020.
- [19] D. A. Skoog, *Fundamentals of Analytical Chemistry*, 9th ed., 2014.
- [20] S. Srivastava and V. Sharma, "Ultra-portable, smartphone-based spectrometer for heavy metal concentration measurement in drinking water samples," *Appl. Water Sci.*, vol. 11, no. 11, 2021, doi: 10.1007/s13201-021-01519-w.
- [21] B. Yudono, *Spektrometri*, 2017.
- [22] Yulkifli et al., "A Low-cost Digital Spectrophotometer for Heavy Metal Absorbance Measurements," *Instrum. Exp. Tech.*, vol. 66, no. 1, pp. 147–155, 2023, doi: 10.1134/S0020441223010256.
- [23] A. Yuniati and R. Rifai, "Study of simple spectrophotometer design using LDR sensors based on arduino uno microcontroller," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1153, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1153/1/012099.
- [24] N. Z. Zamzari, M. Kassim, and M. Yusoff, "Analysis and Development of IoT-based Aqua Fish Monitoring System," *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 12, no. 10, pp. 191–197, 2022, doi: 10.46338/ijetae1022\_20.