

BAB IV

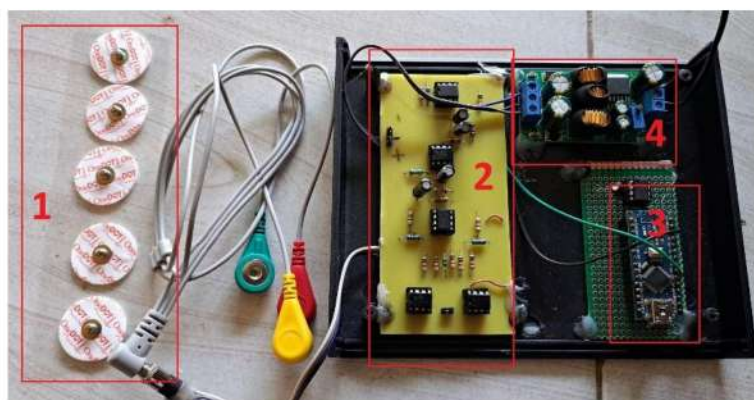
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, hasil pengujian dan pembahasan dari sistem yang telah dirancang akan dijelaskan. Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilalui dalam pengujian serta pembahasan hasil dari penelitian ini.

4.1 Hasil Penelitian

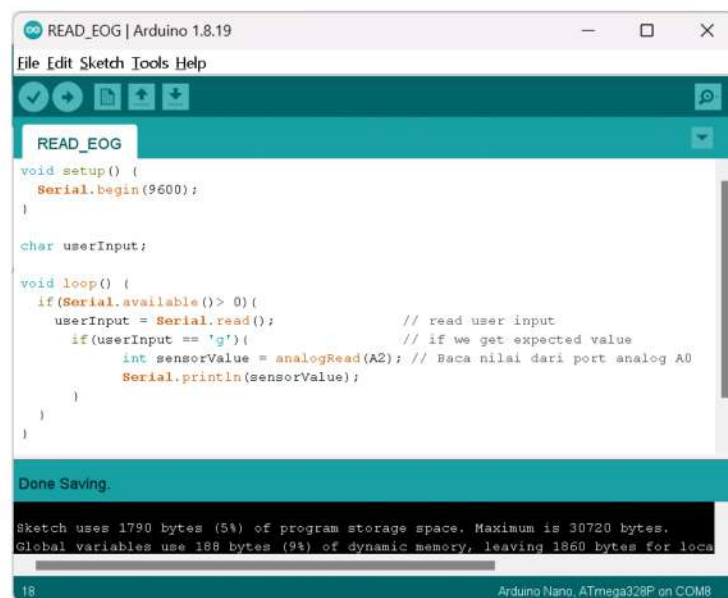
4.1.1 Hasil perancangan modul sensor EOG

Modul Sensor EOG telah berhasil dirancang untuk mendeteksi gerakan mata ke kiri dan ke kanan secara efektif. Elektroda berperan sebagai sensor konduktor yang mendeteksi aktivitas otot mata. Modul rangkaian penguat diferensial berfungsi untuk memperkuat tegangan dari sensor elektroda, sementara modul mikrokontroler Arduino bertindak sebagai pusat pemrosesan sinyal. Hasil implementasi modul sensor EOG ini dengan sensor elektroda dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil perakitan modul sensor EOG, (1) Pad elektode, (2) Modul EOG, (3) Modul Arduino, (4) Stepdown CT

Pembacaan data sensor EOG dilakukan menggunakan bahasa C pada platform Arduino yang berlisensi open source. Program untuk pembacaan data sensor EOG dapat dilihat pada gambar, sedangkan hasil implementasi sensor EOG pada mata manusia dapat dilihat pada gambar 4.2.



```

READ_EOG | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
READ_EOG
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

char userInput;

void loop() {
  if(Serial.available() > 0) {
    userInput = Serial.read(); // read user input
    if(userInput == 'g') { // if we get expected value
      int sensorValue = analogRead(A2); // Baca nilai dari port analog A0
      Serial.println(sensorValue);
    }
  }
}

Done Saving.

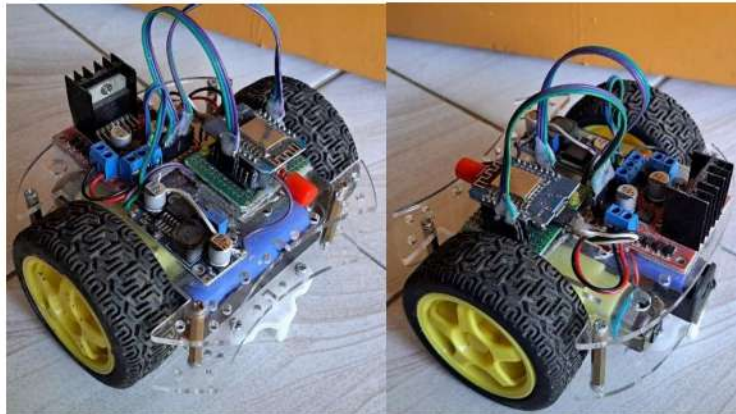
Sketch uses 1790 bytes (5%) of program storage space. Maximum is 30720 bytes.
Global variables use 188 bytes (9%) of dynamic memory, leaving 1860 bytes for local
18 Arduino Nano, ATmega328P on COM8

```

Gambar 4.2 Proses membaca nilai seonsor EOG

4.1.2 Hasil perancangan mobile robot

Mobile robot ini terdiri dari beberapa komponen, yaitu dua roda di kiri dan kanan, dua unit motor DC yang beroperasi pada tegangan 12 volt, serta mikrokontroler Wemos D1 Mini yang sudah dilengkapi dengan WiFi untuk menerima sinyal dari modul EOG. Bentuk mobile robot yang telah dirancang dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil perakitan mobile robot

Sebelum melakukan pengujian terhadap modul sensor EOG, pergerakan mobile robot dikendalikan menggunakan WiFi dari smartphone. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi perilaku robot saat menerima perintah melalui WiFi. Data hasil pengujian robot dengan smartphone WiFi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data pergerakan mobile robot menggunakan smartphone

Data Wifi	Roda Kanan		Roda Kiri		Status Robot
	S1	S2	S1	S2	
“F”	1	0	1	0	Maju
“B”	0	1	0	1	Mundur
“R”	0	0	1	0	Belok Kanan
“L”	1	0	0	0	Belok Kiri

4.1.3 Hasil perancangan sensor EOG dengan filter kalman

Perancangan ini dilakukan langsung pada objek dengan menggunakan mata norma. Data hasil pembacaan sensor EOG yang dikirim oleh mikrokontroler Arduino melalui port USB Serial kemudian difilter menggunakan Kalman Filter. Proses ini dilakukan dengan menggunakan bahasa Python, di mana program

tersebut menangani pembacaan data sensor yang dikirim melalui USB Serial dan menerapkan algoritma Kalman Filter. Program algoritma Kalman Filter dapat dilihat pada gambar 4.4.

```

1  import time
2  import serial
3  import matplotlib.pyplot as plt
4  import matplotlib.animation as animation
5  import numpy as np
6  import csv
7
8  class SimpleKalmanfilter:
9      def __init__(self, Q, R, P, x0):
10         self.Q = Q # Process noise covariance
11         self.R = R # Observation noise covariance
12         self.P = P # Estimate error covariance
13         self.x = x0 # Initial state estimate
14     def predict(self):
15         # Predict the state
16         self.P = self.P + self.Q
17     def update(self, z):
18         # Update the state
19         K = self.P / (self.P + self.R)
20         self.x = self.x + K * (z - self.x)
21         self.P = (1 - K) * self.P
22     # Define the parameters of the Simple Kalman Filter
23     Q = 1 #1e-2 # Process noise covariance 0.01
24     R = 10 #0.1 # Observation noise covariance
25     P = 1 # Estimate error covariance
26     x0 = 0 # Initial state estimate
27
28     kf = SimpleKalmanFilter(Q, R, P, x0)
29
30 def animate(i, dataList, filteredDataList, ser, kf, writer):
31     ser.write(b'g')
32     arduinoData_string = ser.readline().decode('ascii')
33
34     try:
35         arduinoData_float = float(arduinoData_string)
36         dataList.append(arduinoData_float)
37
38         kf.predict()
39         kf.update(arduinoData_float)
40         filteredDataList.append(kf.x) # Tam
41
42         # Tulis data asli dan yang difilter ke file csv
43         # writer.writerow([arduinoData_float, kf.x])
44
45     except: # Pas
46         pass
47

```

Gambar 4.4 Program algoritma Kalman Filter

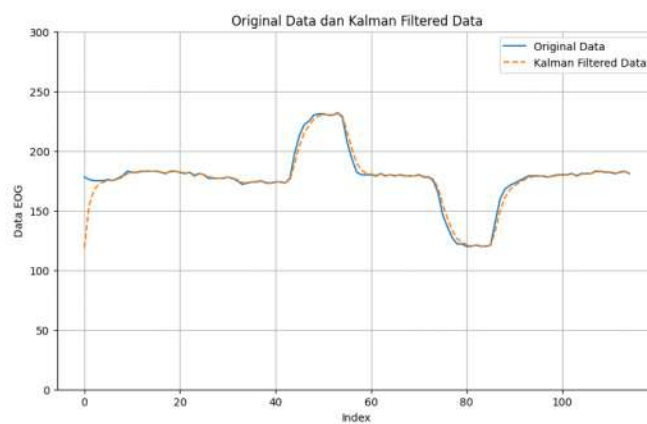
Selanjutnya, dilakukan perbandingan data antara sebelum dan setelah proses filtering untuk mengevaluasi kinerja Kalman Filter. Beberapa parameter Kalman Filter, seperti matriks R dan Q, diubah nilainya dan dianalisis untuk menentukan konfigurasi yang paling optimal dalam mencapai hasil filter yang terbaik.

Pada penelitian ini, eksperimen dilakukan untuk menentukan nilai R yang optimal dalam Kalman Filter. Nilai R yang dipilih akan sangat mempengaruhi kemampuan filter dalam menghilangkan kebisingan sambil tetap menjaga responsivitas terhadap perubahan data. Beberapa nilai R diuji dan hasilnya dirangkum dalam Tabel 4.2.

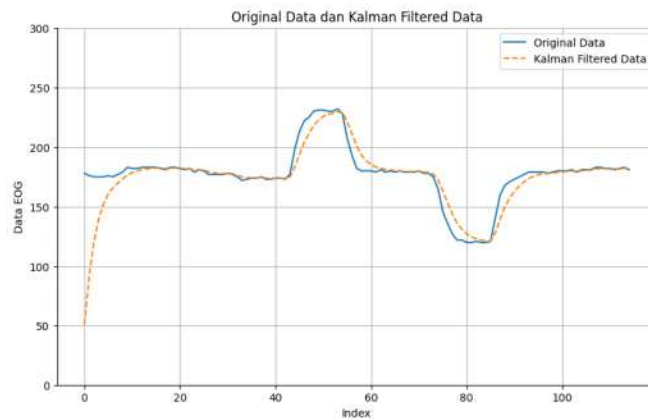
Tabel 4.2 Hasil Eksperimen untuk Penentuan Nilai R pada Kalman Filter

No	Nilai R	Deskripsi Hasil	MSE	Catatan
1	1	Hasil terlalu sensitif terhadap kebisingan	43.28	Data cenderung mengikuti kebisingan
2	5	Hasil masih cukup sensitif	293.03	Lebih baik, tetapi masih agak bising
3	10	Filter lebih halus, hasil lebih stabil	539.39	Hasil optimal dengan keseimbangan yang baik
4	25	Filter sangat halus, respons lambat	1068.90	Terlalu lambat dalam merespons perubahan
5	50	Hasil sangat lambat, kehilangan detail	1683.87	Data terlihat terlalu lambat dan teredam

Pengujian pertama, yang ditunjukkan pada Gambar 4.4, menggunakan konstanta pengukuran $R=1$ dan konstanta varians $Q=1$. Berdasarkan Gambar 4.5, sinyal input hanya terfilter sedikit dibandingkan dengan sinyal input asli, dan nilai sinyal masih sangat bervariasi. Hal ini dapat menyebabkan respons sistem yang sangat agresif.

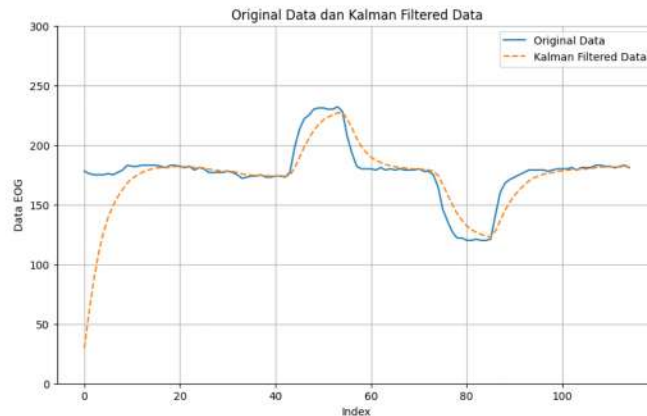
Gambar 4.5 Hasil sinyal EOG dengan $R=1$ dan $Q=1$

Pengujian kedua, seperti yang terlihat pada Gambar 4.6, menggunakan konstanta pengukuran $R=5$ dan konstanta varians $Q=1$. Berdasarkan Gambar 4.6, sinyal input mulai terfilter lebih baik dibandingkan dengan pengujian sebelumnya, meskipun nilainya masih bervariasi secara drastis, meskipun tidak sebesar hasil filter pada pengujian pertama. Ini mungkin masih menghasilkan respons sistem yang agresif. Nilai parameter dari pengujian ini dan sebelumnya tidak sesuai untuk diterapkan pada sistem nyata.



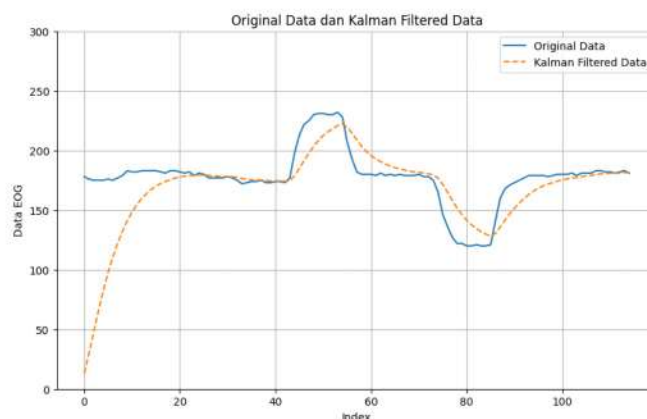
Gambar 4.6 Hasil sinyal EOG dengan $R=5$ dan $Q=1$

Pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 menggunakan parameter Kalman Filter dengan $R=10$ dan $Q=1$. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa parameter tersebut memberikan kinerja terbaik dalam mengurangi noise sekaligus mempertahankan karakteristik asli data. Dengan konfigurasi ini, Kalman Filter mampu menyeimbangkan pengurangan noise dan pemeliharaan fitur penting dari sinyal. Berdasarkan hasil ini, kombinasi nilai parameter R dan Q terbukti efektif dan layak diterapkan pada kasus serupa di masa mendatang.



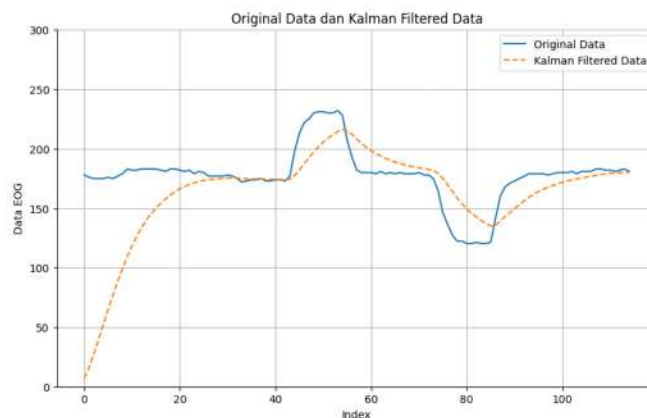
Gambar 4.7 Hasil sinyal EOG dengan $R=10$ dan $Q=1$

Pada pengujian keempat, dapat dilihat pada gambar. Menggunakan konstanta pengukuran $R = 25$ dan konstanta varians $Q = 1$, hasil pengujian menunjukkan bahwa filter memberikan hasil yang sangat halus tetapi dengan respons yang lambat terhadap perubahan sinyal. Meskipun filter efektif dalam mengurangi kebisingan, efek dari nilai R yang besar ini menyebabkan sistem menjadi terlalu lambat dalam merespons perubahan pada data asli. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai R sebesar 25 mungkin terlalu tinggi untuk aplikasi sistem nyata, di mana respons yang lebih cepat dan lebih sensitif terhadap perubahan data mungkin diperlukan.



Gambar 4.8 Hasil sinyal EOG dengan $R=25$ dan $Q=1$

Pada pengujian terakhir dengan hasil grafik pada gambar . Menggunakan konstanta pengukuran $R = 50$ dan konstanta varians $Q = 1$, hasil pengujian menunjukkan bahwa sinyal input menjadi sangat halus dan kehilangan detail penting dibandingkan dengan pengujian sebelumnya. Meskipun filter sangat efektif dalam mengurangi kebisingan, efek ini menyebabkan data terlihat terlalu lambat dan teredam. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai R yang sangat besar mungkin tidak ideal untuk aplikasi sistem nyata karena respons sistem menjadi terlalu lambat, dan detail dari sinyal asli tidak dapat ditangkap dengan baik.

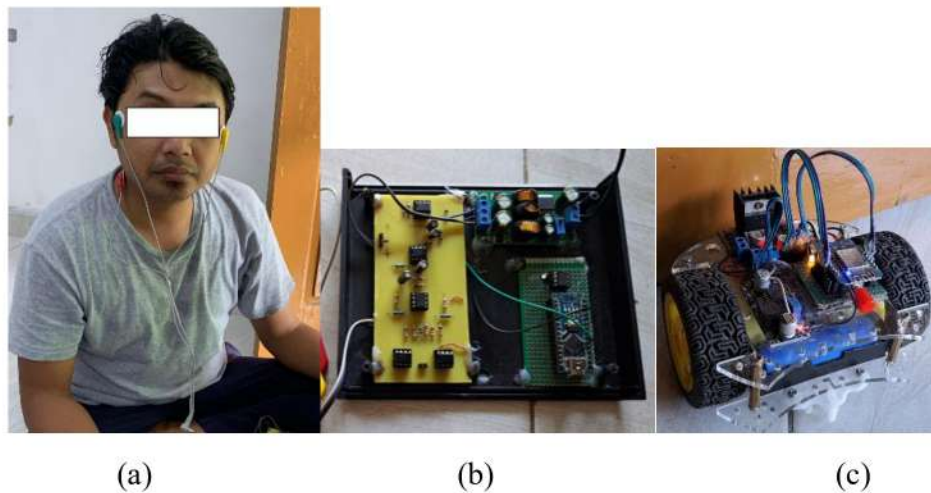


Gambar 4.9 Hasil sinyal EOG dengan $R=50$ dan $Q=1$

4.1.4 Hasil integrasi antara sistem EOG dan sistem mobile robot

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah mengintegrasikan modul sensor EOG dengan mobile robot melalui komunikasi WiFi. Mekanisme kerjanya adalah sebagai berikut: sinyal EOG yang dihasilkan dari gerakan mata dikirim ke komputer melalui Serial USB, kemudian data difilter menggunakan Kalman Filter. Hasil dari algoritma Kalman Filter kemudian dikirim ke mobile robot melalui WiFi (pengirim). Mobile robot menerima sinyal melalui WiFi (penerima) dan

mengkonversinya menjadi data untuk mengendalikan motor DC agar bergerak ke kanan atau kiri. Skenario integrasi modul sensor EOG dengan mobile robot dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.10 Hasil skenario integrasi sensor EOG dengan perangkat mobile melalui koneksi Wi-Fi, (a) Pemasangan elektroda pad pada wajah, (b) Sensor EOG, (c) Robot mobile berkomunikasi menggunakan Wi-Fi sebagai penerima

4.2 Keterbatasan Penelitian

Dalam penelitian ini, beberapa keterbatasan telah teridentifikasi yang mempengaruhi hasil dan implementasi sistem yang dikembangkan. Keterbatasan ini mencakup aspek-aspek teknis serta metodologi yang perlu diperhatikan untuk perbaikan di masa mendatang:

1. Sensor EOG yang digunakan baru satu yaitu pembacaan arah gerak mata horizontal.
2. Keterbatasan bandwidth dan kestabilan sinyal WiFi dapat mempengaruhi transmisi data antara sensor EOG dan mobile robot. Keterlambatan atau

gangguan dalam komunikasi dapat mempengaruhi respons robot terhadap sinyal EOG.

3. Uji coba sistem hanya dilakukan pada sejumlah kecil subjek atau dalam kondisi terbatas. Hal ini dapat mempengaruhi generalisasi hasil penelitian.
4. Metodologi pengujian yang digunakan dalam penelitian ini mungkin tidak sepenuhnya mencakup semua scenario penggunaan yang potensial untuk sistem.