

# JuLIET

Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan

Volume 2, no. 2 Tahun 2021

# JuLIET

Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan

## EDITORIAL BOARD

Jurnal Listrik, Instrumentasi  
dan Elektronika Terapan (JuLIET)

---

### Editor in Chief

Muhammad Arrofiq

### Associate Editor

Suhono

### Editorial Board

Esa Prakasa

Fahmizal

Budi Sumanto

### Asisstant Editor

Andi Fariel

### Copy Editor

Jans Hendry

# JULIET

Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan

## Volume 2, no. 2 Tahun 2021

1. **Analisis Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Oxyhydrogen (Hho) Generator** 1-6  
Yanolanda Suzantry Handayani, Irnanda Priyadi
2. **Rancang Bangun Sistem Pemonitor Gelombang Otak Nirkabel Berbasis Mikrokontroler** 7-13  
Budi Bayu Murti
3. **Sensor Ultrasonik Waterproof A02YYUW Berbasis Arduino Uno pada Sistem Pengukuran Jarak** 14-19  
Imroatul Hudati, Dani Yudha Kusuma, Novita Bayu Permatasari, Resa Rostira Pebriani
4. **Implementasi Filter Kalman pada Sensor Jarak Berbasis Ultrasonik** 20-24  
Imroatul Hudati, Ervan Surya Aby Nugroho, Nerissa Diana Resty
5. **Kendali Posisi Motor DC dengan Menggunakan Kendali PID** 25-30  
Imroatul Hudati, Alief Purnomo Aji, Salima Nurrahma

[jurnal.ugm.ac.id/juliet](http://jurnal.ugm.ac.id/juliet)

# Analisis Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap *Oxyhydrogen* (HHO) Generator

Yanolanda Suzantry Handayani<sup>1</sup>, Irnanda Priyadi<sup>2</sup>, Yanser Viarado Hutabara<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bengkulu  
yanolanda@unib.ac.id<sup>1</sup>, irnanda\_p@unib.ac.id<sup>2</sup>, [yanser@gmail.com](mailto:yanser@gmail.com)<sup>3</sup>

**Abstract** – Indonesia is a country with a dense population, especially coupled with current technological advances, the demand for energy sources also increases along with the increase in population. Energy is something that can be used by humans to carry out the interests and needs of human life to be more prosperous. Some examples of energy sources that can be utilized by humans are sunlight, wind, water, geothermal, sea water, biomass, sea waves and wave power. However, people in Indonesia are still very dependent on non-renewable energy sources such as oil, natural gas, and coal. So if this non-renewable energy source continues to be used over time it will become extinct and run out. For that we need an environmentally friendly energy source that can replace fossil energy sources that can help humans meet their daily needs. *Oxyhydrogen* (HHO) can be developed into a clean and environmentally friendly primary fuel by electrolysis method. The purpose of this study was to identify the effect of voltage variations on the production of *Oxyhydrogen* (HHO) Generator. The results of this study are variations in electric voltage affect the production of *Oxyhydrogen* (HHO) Generator. The eleven-cell dry HHO generator with cell dimensions of 75mm x 75mm with a gap of 3mm used produces 290 mL/min, 455.5 mL/min, 650 mL/min from 12V, 14V and 16V voltage variations.

**Keywords** : *Oxyhydrogen* (HHO) Generator, Electrolysis.

**Intisari** – Indonesia merupakan suatu negara yang penduduknya padat, apalagi ditambah dengan kemajuan teknologi sekarang ini, permintaan sumber energipun ikut meningkat dengan seiring bertambahnya jumlah penduduk. Energi merupakan sesuatu yang dapat dimanfaatkan manusia untuk melakukan kepentingan dan kebutuhan hidup manusia agar lebih sejahtera. Beberapa contoh sumber energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia yaitu sinar matahari, angin, air, panas bumi, air laut, biomasa, gelombang air laut dan tenaga ombak. Akan tetapi masyarakat di Indonesia masih sangat bergantung pada sumber energi yang tidak dapat diperbaharui contohnya minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Sehingga jika sumber energi yang tidak dapat diperbaharui ini terus digunakan lama kelamaan akan punah dan habis. Untuk itu kita butuh sumber energi yang ramah lingkungan yang dapat menggantikan sumber energi fosil yang dapat membantu manusia dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari. *Oxyhydrogen* (HHO) dapat dikembangkan menjadi bahan bakar utama yang bersih dan ramah lingkungan dengan metode elektrolisis. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh variasi tegangan terhadap hasil produksi *Oxyhydrogen* (HHO) Generator. Hasil dari penelitian ini adalah Variasi tegangan listrik berpengaruh terhadap hasil produksi *Oxyhydrogen* (HHO) Generator. Generator kering HHO bersel sebelas berdimesi sel 75mm x 75mm dengan jarak gap 3mm yang digunakan menghasilkan 290 mL/min, 455,5 mL/min, 650 mL/min dari variasi tegangan 12V, 14V dan 16V.

**Kata kunci** : *Oxyhydrogen* (HHO) Generator, Elektrolisis

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan suatu negara yang penduduknya padat, apalagi ditambah dengan kemajuan teknologi sekarang ini, permintaan sumber energipun ikut meningkat dengan seiring bertambahnya jumlah penduduk. Energi merupakan sesuatu yang dapat dimanfaatkan manusia untuk melakukan kepentingan dan kebutuhan hidup manusia agar lebih sejahtera. Beberapa contoh sumber energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia yaitu sinar matahari, angin, air, panas bumi, air laut, biomasa, gelombang air laut dan tenaga ombak. Akan tetapi masyarakat di Indonesia masih sangat bergantung pada sumber energi yang tidak dapat diperbaharui contohnya minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Sehingga jika sumber energi yang tidak dapat diperbaharui ini terus digunakan lama kelamaan akan punah dan habis. Untuk itu kita butuh sumber energi yang ramah lingkungan yang dapat menggantikan sumber energi fosil yang dapat membantu manusia dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari. Para peneliti banyak melakukan penelitian dibidang energi terbarukan agar dapat menyelesaikan permasalahan krisis sumber energi fosil. Salah satunya penelitian tentang *Oxyhydrogen* (HHO) yang dapat menjadi bahan bakar.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Fitriyanti yaitu polusi karbon tidak akan terjadi apabila ada proses

pembakaran dari sumber bahan bakar hidrogen. Dilihat dari proses pembakaran yang mana hidrogen dengan jumlah 155 akan menghasilkan energi panas dan air sebagai bahan keluarannya dengan rumus kimianya adalah  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$  [1]. Hasilnya sekitar 93% atom yang sangat banyak di alam. Sifat dari bahan bakar hidrogen yaitu baersifat bahan bakar yang tidak langsung (sekunder). Untuk menghasilkan bahan bakar yang berasal dari hidrogen harus mencampurkannya dengan sumber energi primer seperti batu bara, nuklir, energi matahari, dan minyak bumi. Sehingga akan menghasilkan bahan bakar pendamping yang dapat menghemat bahan bakar pada sebuah mesin.

Seiring dengan kemajuan teknologi dan pertambahan penduduk, dalam kehidupan sehari-hari mulai mengembangkan dan mengaplikasikan hidrogen sebagai bahan bakar atau energi alternatif. Tetapi pada kenyataannya hidrogen didapat dari proses steam reforming yaitu metana yang bersumber dari gas alam. Sehingga di Amerika Serikat memproduksi sebesar 95% energi alternatif yang campurannya dari gas alam. Dengan adanya penelitian yang banyak dilakukan di Amerika para peneliti di Indonesia penasaran tentang proses bio-oil, proses bio-oil ini merupakan cara menghasilkan gas hidrogen dengan bantuan energi alternatif seperti biomassa [2].

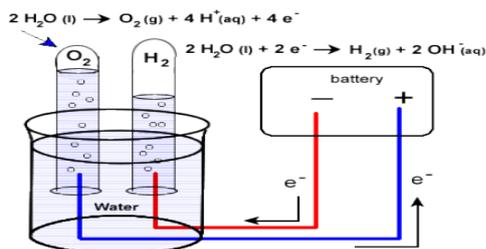
Untuk menghasilkan gas hidrogen salah satu metodenya dapat menggunakan peristiwa elektrolisis [3], yang mana menghasilkan gas brown yang dapat mengubah air ( $H_2O$ ) menjadi gas HHO. Penerapan gas hidrogen dalam kehidupan sehari-hari seperti kendaraan. Dari hasil penelitian sebelumnya sel bahan bakar hidrogen disimpulkan yaitu memiliki efisiensi tiga kali lebih hemat dibandingkan dengan transportasi bermesin yang menggunakan bahan bakar bensin [4].

Ion-ion  $H^+$  dan  $-OH$  dalam larutan cenderung sedikit diakibatkan oleh sifat air yang elektrolitnya lemah, jumlah kondisi elektrolisis air bernilai  $10^{-7}$  M pada saat standar, sehingga proses elektrolisis berjalan menjadi lambat. Untuk itu perlu dilakukan eksperimen proses elektrolisis dengan menambahkan zat terlarut yang bersifat elektrolit seperti asam, basah, atau garam, dan bisa juga memvariasikan elektroda [5].

Dari beberapa penelitian di atas maka perlu kembali dikembangkan sebuah alat generator yang menghasilkan gas hidrogen dan proses elektrolisis yang cepat dan efisien serta ramah lingkungan. Penelitian ini merancang bangun sebuah alat *Oxyhydrogen* (HHO) Generator yang menggunakan jenis *Generator* kering HHO bersel sebelas berdimensi sel 75mm x 75mm dengan jarak gap 3mm, serta memvariasikan nilai tegangan masukannya.

## 2.2. Elektrolisis Air

Peristiwa penguraian senyawa air ( $H_2O$ ) menjadi oksigen ( $O_2$ ) dan hidrogen gas ( $H_2$ ) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air disebut dengan peristiwa elektrolisis air. Dua elektron dapat ditangkap oleh dua molekul air pada katoda menghasilkan gas  $H_2$  dan ion hidrokida ( $OH^-$ ). Peristiwa dua molekul air terurai menjadi oksigen ( $O_2$ ) pada anoda dapat melepaskan empat ion  $OH^-$  dan mengalirkan elektron ke katode, molekul air akan terbentuk dari netralisasi ion  $H^+$  dan  $OH^-$  [3]. Beberapa faktor yang mempengaruhi elektrolisis air adalah kualitas elektrolit, suhu, tekanan, resistansi elektrolit, material dari elektroda, dan material pemisah. Gambar 1 adalah elektrolisis air yang dapat di gunakan untuk mereaksikan gas hidrogen dan oksigen.



Gambar 1. Skema rangkaian yang digunakan pada penelitian [3].

Reaksi elektrolisis merupakan peristiwa yang dapat menghasilkan gelembung elektroda yang mana didalamnya terdiri dari gas hidrogen dan oksigen sehingga dapat diterapkan kepada kendaraan yang berbahan bakar hidrogen. Alat yang membantu penyimpanan energi yaitu baterai, yang mana di dalam sel terjadi pemisahan molekul diatomik hidrogen ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ). Gas inilah disebut dengan HHO atau *Oxyhydrogen* (Brown's Gas). Brown's Gas merupakan penelitian tahun 1974 yang memanfaatkan air murni menghasilkan gas HHO yang dipatenkan dengan nama

*Brown's Gas*. Bahan yang digunakan dalam menghasilkan *Brown's Gas* yaitu elektroliser, elektroliser sendiri unjuk kerjanya dapat memecahkan molekul-molekul air yang terhadap menjadi gas [6].

## 2.3. Daya Input

Proses yang terjadi dalam memisahkan hidrogen dan oksigen dalam larutan elektrolit adalah proses elektrolisis, elektrolisis merupakan bagian dari disiplin ilmu elektrokimia. Elektrokimia sendiri adalah cabang ilmu dalam kimia yang mempelajari tentang interkonversi dari energi listrik dan energi kimia. Dalam reaksi elektrokimia terjadi proses redoks (reduksi-oksidasi) dimana proses ini terjadi secara spontan akibat dari adanya energi listrik [7].

Proses elektrolisis membutuhkan energi listrik sehingga penting untuk menghitung daya input yang digunakan dalam proses elektrolisis. Daya input merepresentasikan seberapa besar energi yang dibutuhkan untuk menguraikan hidrogen dan oksigen dalam larutan elektrolit. Terkadang konsep ini dikenal sebagai magnitudo dari daya input generator. Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya input adalah

$$P = V \times I \quad (2)$$

Dimana :

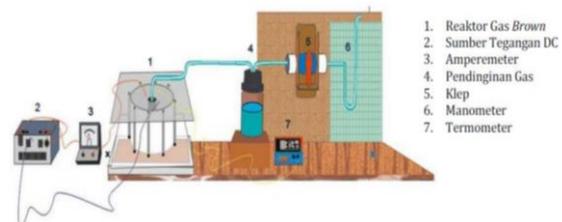
P = Daya Generator HHO (Watt)

V = Beda Potensial (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

## 2.4. Teknologi HHO

*Yull Brown* merupakan penemu dari teknologi HHO (*Oxyhydrogen*) yang mana teknologi yang sengaja dibuat menjadi teknologi open source tanpa paten. Teknologi HHO (*Oxyhydrogen*) ini merupakan solusi yang dapat membantu persoalan krisis energi yang terjadi didunia ini. Gambar dari HHO Generator dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema rangkaian yang digunakan pada penelitian [8].

Gas Hidrogen ( $H_2$ ) dan Oksigen ( $O_2$ ) dihasilkan dari peristiwa elektrolisis. Gas yang sangat mudah terbakar yaitu gas hidrogen ( $H_2$ ). Sehingga jika Hidrogen tersebut disalurkan ke dalam ruang pembakaran akan mensuplai energi yang besar untuk mobil. Proses penghemat BBM pada kendaraan didapat dari proses dari pembakaran hidrogen dan oksigen, dan tenaga yang dihasilkan lebih besar. Dalam hal ini RO atau *Reverse Osmosis* (air murni hasil penyulingan yang menggunakan membran), atau air yang tidak mengandung mineral berasal dari  $H_2O$  air yang digunakan. Penerapan dalam kehidupan sehari-hari yaitu genset diesel atau generator HHO. Generator gas HHO tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung yang terdiri atas tabung, sepasang elektroda dan elektrolit dan sumber tenaganya yang berupa baterai ataupun aki [9].

III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode pemodelan dan pengujian. Yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan terhadap hasil produksi *Oxyhydrogen* (HHO) Generator dan mengetahui hasil perbandingan produksi *Oxyhydrogen* (HHO) Generator terhadap variasi tegangan.

3.1. Prosedur Pengukuran Hasil Produksi

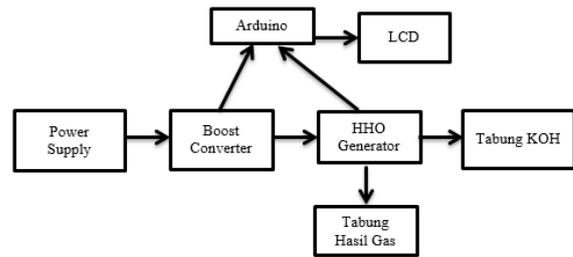
Tahapan persiapan merupakan langkah awal yang dilakukan dalam peneitian ini, adapun persiapan yang dilakukan yaitu isi bejana dan botol penampung dengan air hingga penuh, siapkan perangkat lain seperti *stopwatch* sebagai pencatat waktu, posisikan botol seecara terbalik, lalu tenggelamkan botol bejana yang berisikan air, hubungkan selang hasil produksi gas HHO pada ujung botol, dan tandai posisi batas gas HHO yang dihasilkan pada setiap satu menit yang dilakukan sebanyak lima kali, yang terakhir encampurkan air atau (H<sub>2</sub>O) dengan Kristal KOH.

3.2. Prosedur Pengukuran Arus Listrik

Prosedur pengukuran input arus listrik dengan menggunakan modul arus listrik yang dikontrol menggunakan arduino nano yaitu persiapan alat ukur dngan mengontrol modul tersebut dengan menggunakan arduino, kabel input negatif sebelum disambungkan kemodul arus listrik lalu bagian kabel lainnya pada modul arus disambungkan ke HHO Generator. Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat didefenisikan sebagai berikut yaitu tegangan input yang digunakan adalah 12V – 16 V, kekasaran permukaan elektroda menggunakan produk 120 amplas, kepekatan elektrolit yaitu 0,4 Molar. Setelah melakukan tahapan-tahapan langkah kerja, kami mendapatkan hasil pengukuran elektrolisis H<sub>2</sub>O, hasil pengukuran elektrolisis H<sub>2</sub>O ini akan dimasukkan kedalam matriks penelitian.

3.3. Pengujian

Setelah tahapan persiapan dilakukan, tahapan selanjutnya yaitu proses pengujian untuk mendapatkan nilai volume gas yang dihasilkan HHO generator, adapun langkah-langkah yang dilakukan pada proses pengujian ini yaitu merangkai peralatan pengujian seperti pada rangkaian pada Gambar 3. Hubungkan kabel penghubung power supply ke HHO generator, arduino, multimeter dan ke *boost t converter* seperti Gambar 3, pabila kabel terhubung seluruhnya, maka aturlah tegangan inputnya sebesar 12 V, apabila tegangan sudah diatur, maka HHO Generator dapat diuji, selama dalam pengukuran maka muncul arus pada mikrokontroler (arduino) jika tidak muncul maka kabel jumper tidak terhubung dengan baik, dan memvariasikan tegangan input pada *back bush converter* sebesar 12V, 14V, 16V.



Gambar 3. Skema Rangkaian Pengujian HHO Generator

3.4. Data Pendukung Penelitian

Data pendukung penelitian ataralain pengukuran dilakukan permenit dalam waktu total lima menit pada kondisi-kondisi sebagai berikut yaitu percobaan pertama, konsentrasi larutan sebesar 0,4 molar, volume air sebanyak 1 liter, tegangan masukan sebesar 12 volt, kondisi kekasaran permukaan plat oleh amplas 120 grit. Untuk percobaan kedua, konsentrasi larutan sebesar 0,4 molar, volume air sebanyak 1 liter, tegangan masukan sebesar 14 volt, kondisi kekasaran permukaan plat oleh amplas 120 grit. Dan yang terakhir untuk percobaan ketiga, konsentrasi larutan sebesar 0,4 molar, volume air sebanyak 1 liter, tegangan masukan sebesar 16 volt, dan kondisi kekasaran permukaan plat oleh amplas 120 grit.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Yang Digunakan

Pada percobaan penelitian ini dilangsungkan pada generator HHO jenis kering (*dry cell*), dalam sistem cairan elektrolit akan bersirkulasi mengisi ruang-ruang antar sel yang dibatasi dengan bahan isolator. Ada sembilan plat bersusun yang mana terdiri dari satu plat negatif, dua plat positif dan enam plat netral. Plat yang digunakan mnggunakan material *staniles stell 304*, sistem yang digunakan dapt dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Generator kering HHO (*dry cell*)

4.2. Pembuatan Elektrolit dan Level Elektrolit

Elektrolit yang diisikan dalam HHO generator kering adalah KOH 0,4 molar. Elektrolit merupakan katalis yang mempercepat proses elektrolisis memecah senyawa air (H<sub>2</sub>O) menjadi hydrogen (H<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>) pembuatan elektrolit adalah sebagai berikut yaitu air sebanyak 1000mL dituangkan kedalam wadah kemudian KOH dengan berat 22,4 gram dimasukkan, lalu diaduk hingga benar-benar larut. Cara menentukan molalitas dan molaritas didapat dari :

$$molalitas = \frac{Massa\ Zat\ Terlarut}{Massa\ Relatif\ KOH} \tag{3}$$

$$Massa\ Zat\ Terlarut = 56 \times 0,4$$

$$Massa\ Zat\ Terlarut = 22,4\ gram$$

Timbang KHO dengan berat 22,4 gram, massa relatif KOH didapat dari.

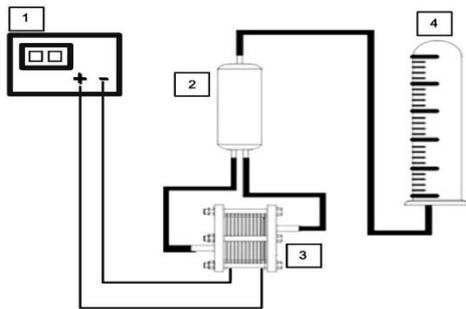
$$\frac{\text{Massa Relatif KOH}}{\frac{\text{Massa Zat Terlarut}}{\text{molalitas}}} = \frac{1000}{\text{massa zat terlarut}} \quad (4)$$

$$\text{Massa Relatif KOH} = \frac{22,4 \text{ gram}}{56} \times \frac{1000}{1000}$$

$$\text{Massa Relatif KOH} = 0,4 \text{ ml}$$

4.3. Pengukuran yang dilakukan

Proses pengujian dilakukan melibatkan proses pengujian dengan skema sebagaimana dijelaskan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Sistem Pengukuran

Keterangan :

- 1. Pengatur tegangan
- 2. Reservoir
- 3. HHO Generator
- 4. Tabung Hasil

Pada penelitian ini proses elektrolisis menggunakan sumber DC sebagai energi potensial untuk menggerakkan generator. Kutub positif dan negatif dari pengatur tegangan masing-masing disambungkan ke generator. Tegangan yang digunakan 12, 14, dan 16 volt. Operasi kerja dari HHO generator terdapat reservoir yang mana adalah tempat masuknya cairan elektrolit, selanjutnya cairan elektrolit masuk kedalam generator lalu hasil yang merupakan produk keluaran yaitu gas oksihidro masuk kembali ke reservoir yang selanjutnya diukur dengan menggunakan botol yang sudah berisi air dengan penuh ketika HHO generator dihasilkan produk akan menekan air keluar dari botol.

4.3. Hasil Pengujian HHO Generator

Pengujian HHO generator dengan variasi tegangan dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan terhadap produksi HHO Generator.

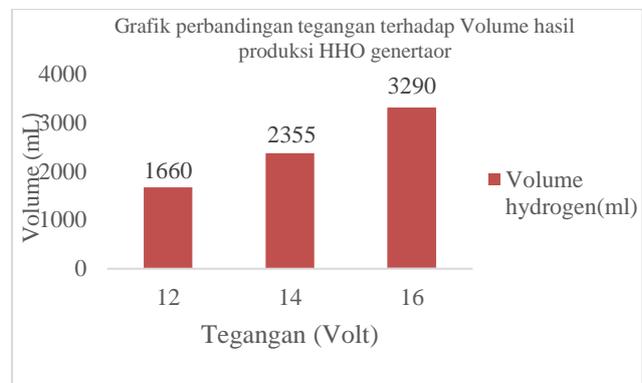
Data yang terjadi pada Tabel 1 untuk diambil selama lima menit sistem beroperasi data dicatat setiap satu menit. Dari pengamatan selama percobaan arus listrik dipengaruhi volume elektrolit di dalam generator. Semakin banyak elektrolit semakin besar arus listrik. Oleh karena itu volume pada setiap percobaan dijaga konstan.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Besaran Listrik

Variasi Tegangan (V)	Waktu (s)	Arus (A)	Daya (Watt)	Volum Hydrogen (ml)
12	1	7,65	91,7	260
	2	7,80	93,5	480
	3	8,10	97	878
	4	8,40	100,4	1350
	5	8,85	105,4	1660
14	1	7,7	100,4	350
	2	7,90	110,5	520
	3	8,20	114,2	998
	4	8,60	120,2	1520
	5	9,10	126,9	2355
16	1	8,25	135	510
	2	8,50	138	1260
	3	8,90	142	1810
	4	9,20	148	2450
	5	9,98	158	3290

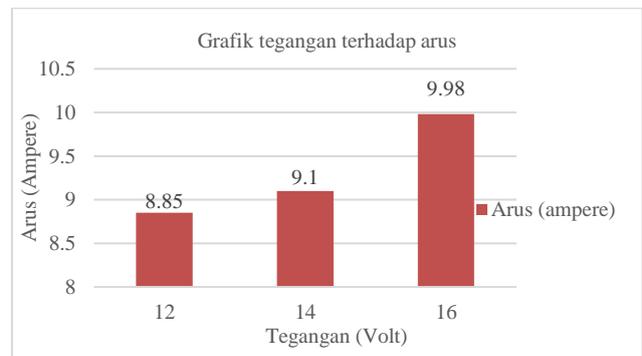
4.4. Pengaruh Variasi Tegangan

Berdasarkan data dari Tabel 1 dibuat ke dalam grafik pada Gambar 6 untuk menjelaskan pengaruh variasi tegangan terhadap produksi HHO Generator.



Gambar 6. Perbandingan Tegangan Terhadap Volume Hasil Produksi HHO Generator

Pada Gambar 6 menjelaskan bahwa pada saat tegangan 12 volt, 14 volt dan 16 volt mempunyai nilai yang berbeda beda dimana volume yang dihasilkan pada saat pengujian 12 volt jauh lebih kecil dibandingkan pada saat pengujian 16 volt. Hal ini menunjukkan semakin besar tegangan maka akan semakin banyak produk yang dihasilkan. Dikarenakan dua molekul air bereaksi dengan menangkap 2 elektron pada katoda yang terinduksi menjadi gas (H<sub>2</sub>) dan ion hidroksida (H<sup>-</sup>) akan semakin cepat.



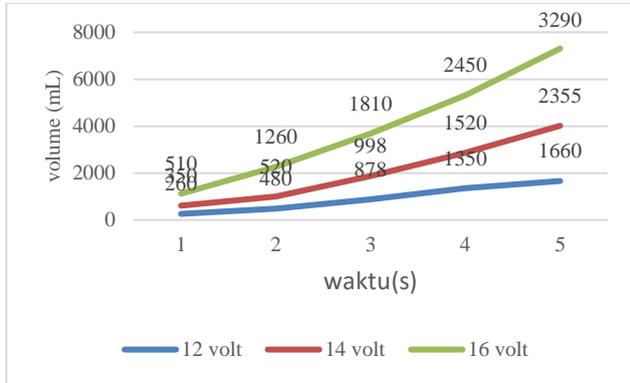
Gambar 7. Perbandingan Tegangan terhadap Arus

Pada gambar 7 menjelaskan bahwa tegangan yang di

variasikan pada saat pengujian 12 volt dapat dilihat arus akan semakin naik, sama halnya dengan pengujian sampai dengan 16 volt.

4.5. Pengaruh Waktu Operasi

Hasil yang didapat dari proses kerja generator yang dicatat setiap menit ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Volume Produksi HHO Generator Yang Dihasilkan Setiap Menit Selama Lima Menit

Pada gambar 8 menjelaskan Generator yang beroperasi selama lima menit secara kontinyu menambah produk oksihidrogen sehingga hasil yang diberikan terus meningkat, dengan perbedaan *suplay* yang berbeda laju penambahan yang berbeda tegangan 12 volt, 14 volt dan 16 volt menghasilkan produk oksihidrogen yang berbeda-beda. Dari menghitung kemiringan masing-masing garis pada Gambar 4.7 diperoleh *slove* tegangan 12, 14 dan 16 secara beruntutan adalah 290mL/menit, 455,5 mL/menit, 650 mL/min. Dengan demikian semakin besar tegangan maka produksi HHO Generator semakin tinggi.

4.6. Perhitungan Daya Data Hasil Pengujian HHO Generator

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh pada Tabel 2 dapat dilakukan perhitungan daya dengan menggunakan persamaan 5.

Perhitungan daya dengan variasi tegangan 12 volt.

$$P = V \times I \tag{5}$$

$$P = 12 \text{ Volt} \times 7,65 \text{ A}$$

$$P = 91,8 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan hasil perhitungan pada saat pengujian 12 volt sampai dengan 16 volt dapat dibuat dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 2.

Variasi Tegangan (V)	Waktu (s)	Arus (A)	Daya (Watt)	Daya Hitung (Watt)
12	1	7,65	91,7	91,8
	2	7,80	93,5	93,6
	3	8,10	97	97,2
	4	8,40	100,4	100,8
	5	8,85	105,4	106,2
14	1	7,7	100,4	100,8
	2	7,90	110,5	110,6
	3	8,20	114,2	114,8

16	4	8,60	120,2	120,4
	5	9,10	126,9	127,4
	1	8,25	135	132
	2	8,50	138	136
	3	8,90	142	142,4
16	4	9,20	148	147,2
	5	9,98	158	159,6

Berdasarkan Tabel 2 menjelaskan bahwa nilai daya pengujian dan daya perhitungan dengan pada tegangan dari 12 volt tidak jauh berbeda hal ini menunjukkan pada pengujian 12 volt alat bekerja dengan baik. Pada tegangan 14 volt dan 16 volt nilai daya ukur dan daya ukur tidak terlalu jauh hal ini menunjukkan bahwa pada pengujian alat yang dilakukan terjadi kesalahan ataupun pada alat terjadi *error*, sehingga mengakibatkan nilai daya kurang maksimal.

4.7. Perhitungan Error Daya

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh maka dapat dilakukan perhitungan nilai *error* antara pengukuran daya dengan menggunakan Persamaan (6) dan Persamaan (7) yaitu teori galat *error* (galat absolut) yang mana galat absolut dari pengukuran didefinisikan sebagai selisih antara nilai sebenarnya (*true value*) dengan nilai hasil pengukuran (*measured value*). Nilai absolut dari galat ini ditentukan melalui rumusan persamaan 6 berikut:

$$E_a = |X_i - X_p| \tag{6}$$

Sedangkan galat relatif ditentukan dari perbandingan antara galat absolut tersebut terhadap nilai sebenarnya. Dalam persentase, ini dirumuskan pada persamaan (7) :

$$E_r = \frac{E_a}{E_p} \times 100 \% \tag{7}$$

- Dimana :
- Er = galat relatif (%)
- Ea = Galat Absolut
- Xi = Nilai Pengukuran
- Xp = Nilai Sejati

Dengan menggunakan Persamaan (6) dan (7) maka dapat diketahui persentase *error* atau galat yang terjadi pada sistem. Semakin kecil nilai *error* pada suatu sistem, maka semakin baik kinerja sistem tersebut [10].

Perhitungan *error* dengan tegangan 12 volt,

$$\text{Ralat mutlak} = |91,8 - 91,7|$$

$$\text{Ralat mutlak} = 0,1$$

$$\text{Ralat relatif} = \frac{0,1}{91,7} \times 100\%$$

$$\text{Ralat mutlak} = 0,1\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan ralat mutlak dan ralat relatif, dapat dilihat bahwa nilai dari ralat tersebut tidak terlalu besar, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tegangan	Waktu (s)	Daya Hitung (W)	Daya Ukur (W)	Ralat (%)
12 V	menit 1	91,8	91,7	0,1

	menit 2	93,6	93,5	0,1
	menit 3	97,2	97	0,2
	menit 4	100,8	100,4	0,3
	menit 5	106,2	105,4	0,7
14 V	menit 1	100,8	100,4	0,3
	menit 2	110,6	110,5	0,2
	menit 3	114,8	114,2	0,2
	menit 4	120,4	120,2	0,2
	menit 5	127,4	126,9	0,1
16 V	menit 1	132	135	0
	menit 2	136	138	0
	menit 3	142,4	142	0,2
	menit 4	147,2	148	1,5
	menit 5	159,6	158	1,0

Berdasarkan perhitungan *error* daya pada tegangan 12 volt dari menit kesatu sampai menit kelima relatif kecil hal ini menunjukkan pengujian HHO Generator berajalan dengan baik. Pada saat tegangan 14 volt dari menit pertama sampai dengan menit kelima relatif kecil dengan nilai ralat terbesar pada menit ketiga 0.5% . Dengan demikian kemungkinan pada saat pengujian alat dilakukan peletakan *reservoir* kurang konstan sehingga mempengaruhi hasil pengukuran kurang akurat. Pada saat tegangan 16 volt dari menit kesatu sampai dengan menit kelima tingkat *error* sangat relatif kecil maksimal *error* sebesar 3% dengan demikian dapat dikatakan bahwa tingkat keakuratan alat mencapai 80%.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa, variasi tegangan listrik berpengaruh terhadap hasil produksi *Oxyhydrogen* (HHO) Generator. Generator kering HHO bersel sebelas berdimensi sel 75mm x 75mm dengan jarak gap 3mm yang digunakan menghasilkan 290 mL/min, 455,5 mL/min, 650 mL/min dari variasi tegangan 12V, 14V dan 16V.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitriyati, "Analisis Produktivitas Gas Hidrogen Berdasarkan Arus Dan Tegangan Pada Proses Elektrolisis H<sub>2</sub>O," *JFT J. Fis. dan Ter.*, vol. 6, no. 2, pp. 154–161, 2019, [Online]. Available: electrolysis, HHO generator, hydrogen.
- [2] W. Variananto, Arif: Wulan, PDK, Praswasti; Purwanto, Wahyu, "Produksi Hidrogen Menggunakan Steam Reforming Bio-Oil Dari Pirolisis Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Katalis Ni-Ce/La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>," Universitas Indonesia, 2014.
- [3] H. Achmad, *Kimia analitik kualitatif. Analisis kualitatif konvensional*. Bandung: Citra Aditya Bakti, 2012.
- [4] R. Purwacaraka, Helmi; Santoso, Budhi, Dian; Rahmadewi, "Analisis Tegangan dan Arus untuk Menghasilkan Elektrolisis pada Sistem Hidrogen

- Fuel Cell," *STROOM J. Signal Process. Control. Electron. Comput. Power, Telecommun. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [5] I. SYL, "Perilaku sel elektrolisis air dengan elektroda stainless steel," in *prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010*, 2010, [Online]. Available: <http://staffnew.uny.ac.id/upload/131808339/penelitian/perilaku-sel-elektrolisis-air-dengan-elektroda-stainless-stell.pdf>.
- [6] R. Bow, Yohandri; Sari, Permata, Ayu; Harliyan, Dwi, Ayu; Saputra, Bayu; Budiman, "Produksi Gas Hidrogen Ditinjau Dari Pengaruh Duplex Stainless Steel Terhadap Variasi Konsentrasi Katalis Dan Jenis Air Yang Dilengkapi Arrestor," *J. Kinet.*, vol. 11, no. 3, 2020.
- [7] A. Wahyono; Roih, "Pembuatan Alat Produksi Gas Hidrogen Dan Oksigen Tipe Wett Cell Dengan Variasi Luas Penampang," *Eksergi J. Tek. Energi*, vol. 12, no. 1, pp. 18–23, 2016.
- [8] B. Sopandi, Ihsan; Hananto, Yuli; Rudyanto, "Studi Ketebalan Elektroda Pada Produksi Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksigen) Oleh Generator Hho Tipe Basah Dengan Katalis NaHCO<sub>3</sub> (Natrium Bikarbonat)," *J. RONA Tek. PERTANIA*, vol. 8, no. 2, pp. 99–110, 2015, [Online]. Available: <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RTP%0A>.
- [9] A. Harman; M, "Design Of Hho Generator To Reduce Exhaust Gas Emissions And Fuel Consumption Of Non-Injection Gasoline Engine," *J. rnal Din. Vokasional Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 9–17, 2019, [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/dynamika/issue/view/1672>.
- [10] Buchanan J. L and Turner P. R, *Numerical Methods and Analysis*. New York: McGraw-Hill Inc., 1992.

# RANCANG BANGUN SISTEM PEMONITOR GELOMBANG OTAK NIRKABEL BERBASIS MIKROKONTROLER

Budi Bayu Murti<sup>1</sup>, Adlan Bagus Pradana<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Elektro dan Informatika Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada  
budibm@ugm.ac.id, adlan.pradana@ugm.ac.id

*Abstract – Humans are a very complex living system composed of billions of active cells working together to form tissues. The neural network that is awakened has an information transmission system based on the body's electricity or bioelectricity. All surfaces of the human skin and body parts have electrical properties and impedance that can be detected to indicate health conditions. In the biomedical field the measurement of bioelectric signals becomes one of the important aspects. Bioelectric measurements to monitor heart conditions are known as ECG (Electrocardiography), EMG (electromyography), ENG (electroneurography). Signals from the brain are detected from electroencephalography (EEG) signal parameters. The study was developed by a sensor system capable of noninvasive brain waves and capable of sending signals wirelessly through RF radio waves in real-time. The device is built using a TGAM sensor, a microcontroller interface, Bluetooth device, and the LabView application. Tests were carried out to measure the range and frequency range of the EEG. The object of measurement is a human being conditioned to some state of mind. The results show that the wireless EEG signal detection system using Bluetooth transmission has been able to transmit sensor data well and can connect automatically with Arduino. The detection results can be monitored directly on the GUI display of the LabVIEW software and a graph of the frequency range can be seen.*

*Keywords : Wireless, EEG, LabVIEW, sensor, Bluetooth*

**Intisari – Manusia merupakan suatu sistem hidup yang sangat kompleks tersusun dari milyaran sel aktif yang bekerja bersama membentuk jaringan. Jaringan syaraf yang terbangun memiliki sistem transmisi informasi berdasarkan pada kelistrikan tubuh atau biolistrik. Semua permukaan kulit dan bagian tubuh manusia memiliki sifat kelistrikan dan impedansi yang bisa dideteksi untuk menunjukkan kondisi kesehatan. Di bidang biomedis pengukuran isyarat biolistrik menjadi salah satu aspek yang penting. Pengukuran biolistrik untuk memonitor kondisi jantung dikenal sebagai informasi ECG (Electrocardiography), EMG (Electromyography), ENG (Electroneurography). Sedangkan untuk sinyal dari otak dideteksi dari parameter isyarat Electroencephalography (EEG). Pada penelitian ini dilakukan pengembangan sistem sensor yang mampu mendeteksi gelombang otak secara non-invasif dan mampu mengirimkan isyarat secara nirkabel melalui gelombang radio RF secara *real-time*. Perangkat dibangun menggunakan sensor TGAM, antarmuka mikrokontroler, piranti Bluetooth, serta aplikasi LabView. Pengujian dilakukan untuk mengukur jarak jangkauan dan rentang frekuensi EEG. Objek pengukuran adalah manusia yang dikondisikan pada beberapa keadaan pikiran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pendeteksi sinyal EEG nirkabel menggunakan transmisi Bluetooth telah dapat mengirimkan data sensor dengan baik serta dapat terhubung secara otomatis dengan Arduino. Hasil pendeteksian dapat dimonitor secara langsung pada tampilan GUI software LabVIEW dan dapat diketahui grafik rentang frekuensinya.**

**Kata kunci : Nirkabel, EEG, LabVIEW, sensor, Bluetooth**

## I. PENDAHULUAN

Manusia merupakan suatu sistem hidup yang sangat kompleks tersusun dari milyaran sel aktif yang bekerja bersama membentuk jaringan. Jaringan syaraf yang terbangun memiliki sistem transmisi informasi berdasarkan pada kelistrikan tubuh atau biolistrik. Semua permukaan kulit dan bagian tubuh manusia memiliki sifat kelistrikan dan impedansi yang bisa dideteksi untuk menunjukkan kondisi. Di bidang biomedis pengukuran isyarat biolistrik menjadi salah satu aspek kegiatan yang penting. Pengukuran biolistrik untuk memonitor kondisi jantung dikenal sebagai informasi ECG (Electrocardiography), EMG (Electromyography) untuk otot, ENG (Electroneurography) untuk syaraf. Sedangkan untuk sinyal dari otak dideteksi dari parameter isyarat EEG (Electroencephalography).

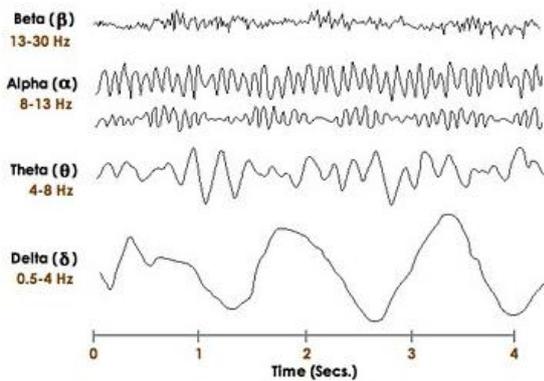
Sinyal EEG merupakan gelombang yang paling kompleks dibanding dengan sinyal biomedis yang lain. Terutama dalam pengambilan data karena letak titik pengambilan berada di daerah kepala, yang sebagian besar ditumbuhi rambut. Penempatan sensor harus tepat pada posisinya dan menggunakan elektroda yang tepat. Elektroda kering dan non-invasif banyak digunakan dalam pengambilan data EEG karena lebih praktis dan tidak menimbulkan rasa sakit pada permukaan kulit. Sensor yang

memiliki antarmuka terhubung langsung dengan jaringan listrik beresiko mengalami masalah pentanahan dan kebocoran arus. Antarmuka yang menggunakan kabel juga kurang fleksibel dalam pemakaian.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan sistem sensor yang mampu mendeteksi gelombang otak secara non-invasif dan mampu mengirimkan isyarat secara nirkabel melalui gelombang radio RF secara *real-time*. Isyarat yang terdeteksi selanjutnya dikondisikan secara elektronis agar mudah diproses sesuai pemanfaatan. Faedah yang diharapkan dalam penelitian ini adalah mempermudah dalam memahami karakteristik sinyal EEG, memudahkan monitoring kondisi otak melalui pendeteksian isyarat biolistrik otak, dan sebagai sarana penerapan dan pengembangan teknologi rekayasa elektronika medis, dan neurosains.

## II. STUDI PUSTAKA

Sinyal EEG dapat diukur dengan cara menempatkan elektroda atau sensor secara non-invasif pada permukaan kulit kepala. Amplitudo sinyal EEG normal memiliki rentang 10-100  $\mu\text{V}$  menggunakan elektroda pada kulit kepala. Berdasarkan pada rentang frekuensi yang terukur, sinyal gelombang otak (EEG) terbagi dalam beberapa jenis seperti pada gambar 1.



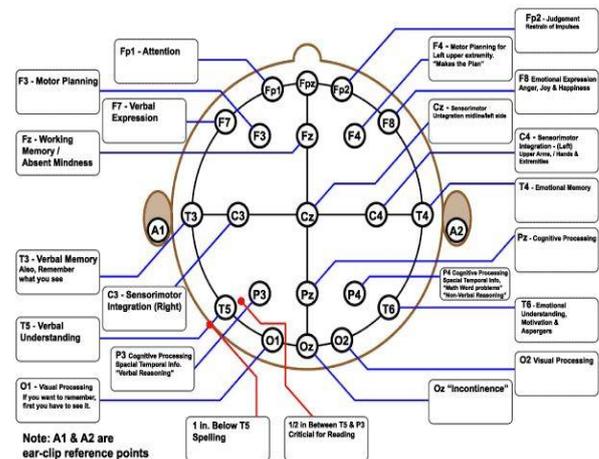
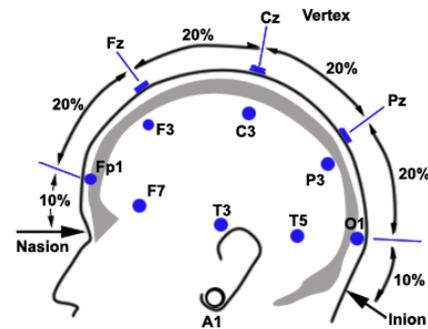
Gambar 1. Ragam Bentuk Gelombang Otak (EEG) [14]

Berdasarkan pada rentang frekuensi yang terukur, sinyal gelombang otak (EEG) terbagi dalam beberapa jenis sebagai berikut:

1. Alpha merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 8 - 13 Hz. Alpha mengindikasikan seseorang dalam keadaan kondisi pikiran rileks. Gelombang ini muncul pada bagian otak daerah *occipital cortex* dan juga pada bagian frontal cortex.
2. Beta merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 13 - 30 Hz. Beta adalah gelombang otak yang biasanya terjadi pada saat seseorang sedang aktif berpikir. Gelombang Beta terbagi menjadi *Beta Low* (13-20 Hz) dan *Beta High* (20 - 30 Hz).
3. Theta merupakan gelombang otak dengan rentang fiekuensi antara 4 - 8 Hz. Theta muncul pada seseorang yang mengalami stres secara emosional
4. Delta merupakan gelombang otak dengan rentang frekuensi antara 0.5 - 4 Hz. Delta muncul pada saat seseorang dalam keadaan tidur nyenyak dan dapat pula mengindikasikan adanya cacat fisik di otak.

Penelitian mengenai sistem pendeteksi gelombang otak (EEG) sudah sering dilakukan oleh para ilmuwan ataupun industri. Sistem menggunakan elektrode kering dari busa untuk menjaga impedansi kulit rendah. Hasil pendeteksian dimonitor melalui sistem transmisi bluetooth. Sistem ini digunakan untuk memantau kondisi emosi dari pemain game[1]. Sistem pendeksi sinyal EEG nirkabel menggunakan elektrode kering tanpa gel yang dilengkapi dengan *skin screw*. Titik perekaman menggunakan pola 3 titik. Hasil deteksi dikirimkan melalui transmisi Bluetooth dikirimkan ke telepon genggam [5]. Pengembangan sistem EEG nirkabel riil time berbasis pada sistem Bluetooth dengan klasifikasi sinyal menggunakan metode SMV. Sistem menggunakan 3 titik elektrode kering untuk memonitor keadaan harian pasien [3]. Pengembangan piranti pendeteksi EEG nirkabel khusus untuk keperluan BCI(*Brain Computer Interface*). Sistem menggunakan 2,4,6,8 elektrode untuk memonitor atensi dan emosi dari pemakai [4].

Pengukuran gelombang EEG melalui sensor atau *probe* dapat diletakkan pada titik C3, C4, P3, P4, O1, O2 dan sebagainya berdasarkan sistem internasional 10-20. Untuk *probe* referensi pengukuran diletakkan pada titik A0 dan A1. Sistem ini didasarkan pada pengukuran yang dibuat dari *nasion inion* sisi kiri dan kanan kepala. Titik peletakan sensor didasarkan pada referensi peta otak manusia seperti pada gambar 2 [13].



Gambar 2. Peta Titik Peletakan Sensor[2]

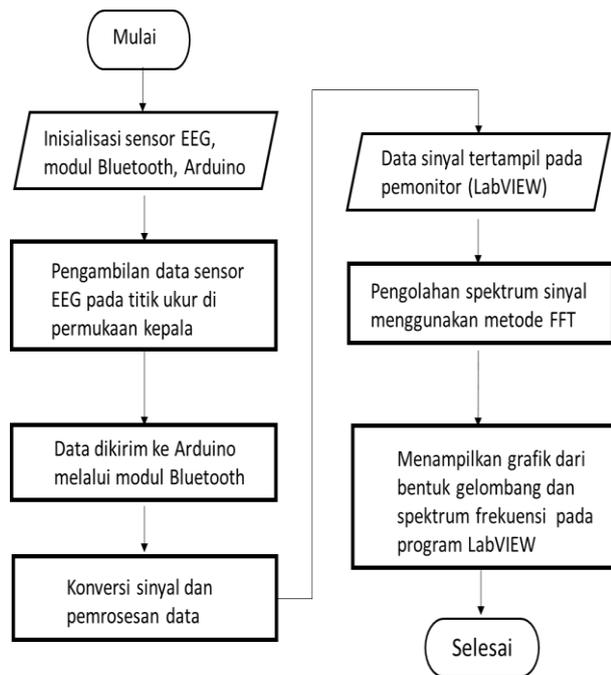
Bahan elektrode yang umum digunakan pada sensor adalah piringan probe berbahan Ag-AgCl dan diberi gel elektrolit untuk menambah konduktivitas. Pemakaian Elektroda kering sebagai *probe* memiliki keuntungan tanpa gel, tidak berpotensi iritasi, dan lebih portabel.

[6] Melakukan penelitian mengenai pengendalian lampu menggunakan sensor gelombang otak. Pengendalian dilakukan melalui tiga sensor yang diletakkan di bagian depan kepala manusia.

[12] Melakukan penelitian tentang interpretasi Sinyal EEG yang digunakan untuk mengetahui kondisi seseorang menggunakan *software* labView.

### III. METODE PENELITIAN

Diagram alir digunakan untuk mengetahui alur kerja yang mendeskripsikan mulai dari awal hingga akhir proses penelitian. Gambar 3 menunjukkan keseluruhan dari *flowchart* sistem yang dibangun.



Gambar 3. Flowchart Sistem

Proses dimulai dengan inisialisasi I/O seperti elektrode probe dengan sensor yang akan mendeteksi sinyal pada permukaan kepala yang seposisi dengan otak manusia yang kemudian ditransmisikan secara nirkabel ke penerima yang dilengkapi modul Bluetooth HC-05. Modul terhubung dengan Arduino. Selanjutnya data sinyal yang diperoleh akan dikonversikan dan diproses melalui mikrokontroler Arduino Uno yang telah terhubung melalui *interface* USB ke laptop. Kemudian sinyal EEG tersebut diekstraksi spektrumnya menggunakan Transformasi Fourier menggunakan metode FFT dan ditampilkan pada *software* LabVIEW secara grafis.

Peralatan dan bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Piranti antarmuka EEG, sistem elektronis analog digunakan untuk memproses sinyal lemah dari sensor yang terdeteksi.
- b. Elektrode (probe) berbahan perak. Terdapat 3 *probe* yang digunakan yaitu 1 *probe* tekan tempel , dan 2 *probe* tempel jepit.
- c. Kabel penghubung dan konektor, digunakan untuk menghubungkan antara elektroda dengan piranti antarmuka.
- d. Piranti mikrokontroler Arduino Uno, digunakan untuk memroses data analog dan digital, serta transmisi data ke laptop.
- e. *Software* Labview, untuk membantu simulasi isyarat EEG
- f. Arduino Sketch, untuk memprogram piranti mikrokontroler Arduino
- g. Laptop/komputer untuk pemrosesan data, sekaligus catu daya rangkaian

TGAM merupakan sebuah antarmuka sensor sinyal biolistrik atau salah satu sensor biolistrik yang dapat mengukur gelombang otak manusia. TGAM yang ditunjukkan pada gambar 4 juga merupakan sensor gelombang otak utama Neurosky dari *microcircuit system-on-chip* yang dilengkapi dengan komponen akuisisi sinyal. Menggunakan prinsip operasi yang cukup sederhana, dua sensor kering untuk mendeteksi dan menyaring sinyal EEG dengan *chip onboard* yang memproses semua informasi dan menyediakan data ini ke dalam bentuk digital. Ujung sensor TGAM mendeteksi sinyal listrik dari permukaan dahi manusia. Pada saat yang sama, sensor mengambil derau yang dihasilkan oleh otot manusia dan dari lingkungan disekitar. Sensor kedua adalah klip telinga yang terdiri dari pentanahan dan referensi, memungkinkan TGAM untuk menyaring derau. Data dari pengolahan sinyal gelombang otak dalam bentuk analog kemudian diproses dalam mikrokontroler agar dapat menghasilkan isyarat perintah [6].



Gambar 4. TGAM Developmet Kit

Di dalam rangkaian perangkat TGAM ini terdapat beberapa komponen diantaranya adalah sebagai berikut :

TGAM merupakan sensor gelombang otak dari NeuroSky modul ASIC yang dirancang untuk aplikasi masal. Sensor ini dapat mengubah sinyal otak menjadi pesan, dimana orang tersebut berpikir kemudian mengubah pemikiran menjadi sinyal listrik dan dikirim ke prosesor untuk melakukan perintah tertentu yang dapat diaplikasikan pada aplikasi ponsel, aplikasi windows, permainan/*video game*, serta dapat diaplikasikan untuk penggunaan medis dan teknologi. Gambar 5 berikut merupakan sensor Think Gear AM



Gambar 5. Think Gear AM [11]

Konektivitas sensor yang terdapat pada modul TGAM dapat dihubungkan melalui Bluetooth atau nirkabel menggunakan pengendali atau dengan *smartphone* atau

komputer. Bahwa dengan elektrode kering yang sederhana, modul ini baik digunakan dalam permainan, *video game*, dan perangkat kesehatan karena konsumsi daya yang menggunakan baterai, sehingga cocok diaplikasikan secara portabel.

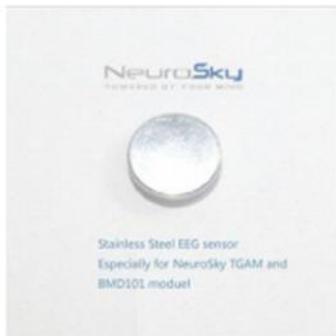
Modul Bluetooth dengan tipe HC-05 merupakan piranti yang digunakan untuk mengirimkan sinyal/data ke *smartphone*, komputer/PC.

*Battery case* yang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut merupakan tempat penyimpanan baterai sebagai catu daya dengan saklar ON/OFF



Gambar 6. *Battery Case*

Gambar 7 menunjukkan sensor *dry stainless* yang merupakan sensor EEG yang terdapat pada modul TGAM.



Gambar 7. *Dry Stainless Steel Sensor*

*Ear Clips* yang ditunjukkan pada gambar 8 berikut merupakan klip yang dipasangkan pada telinga yang terdiri dari pentanahan dan referensi.



Gambar 8. *Ear Clips*

Bluetooth menjadi teknologi nirkabel standar yang merupakan pertukaran pengetahuan antara perangkat dalam jarak dekat sehingga dapat membangun jaringan area pribadi (PAN). Bluetooth beroperasi dalam pita frekuensi 2,4 GHz atau antara (2400 - 2483,5 MHz), kecuali untuk beberapa negara memiliki batas frekuensi sendiri dengan menggunakan *frequency hopping tranceiver* untuk menyediakan data dan layanan bicara secara *real time* antara host Bluetooth. Dalam penelitian ini menggunakan modul Bluetooth dengan tipe HC-05. Modul Bluetooth HC-05 digunakan untuk mengubah port serial yang berinteraksi dengan kabel menjadi komunikasi serial dengan teknologi nirkabel atau tanpa kabel. Bluetooth HC-05 menggunakan *chip* BlueCore 4-eksternal yang merupakan *chip* radio tunggal dan *baseband* IC untuk Bluetooth 2.4GHz yang mengadopsi sistem peningkatan kecepatan data (EDR) yang memiliki kecepatan transfer data hingga tiga Mbps. Selain HC-05, ada juga beberapa jenis modul Serial Port Protocol (SPP) lainnya yaitu HC-03, HC-04 dan HC-06. Modul serial Bluetooth dengan tipe bernomor genap (HC-04 dan HC-06) adalah jenis yang mode operasinya tidak dapat diubah dari pengaturan pabrik. Mode komunikasi yang didukung Bluetooth HC-05 memiliki dua mode kerja, yaitu mode kerja *order-response work mode* dan *automatic connection work mode*. Untuk mode kerja *order-response* adalah komunikasi yang terjalin antara Bluetooth secara manual.

Arduino adalah sirkuit elektronik yang memiliki sifat *open source*, dan memiliki perangkat keras dan perangkat lunak yang mudah digunakan. Arduino dapat mengenali lingkungan yang mencakup melalui berbagai jenis sensor dan dapat mengontrol suhu, lampu, motor, dan berbagai jenis aktuator lainnya. Arduino juga terdiri dari beberapa jenis, termasuk Arduino Uno, Arduino Mega 2560, Arduino Leonardo dan lain-lain[8]. Arduino yang ditunjukkan pada gambar 9 adalah Arduino Uno yang digunakan dalam penelitian ini. Arduino Uno merupakan sistem mikrokontroler papan minimum di mana ada mikrokontroler AVR seri ATmega 328 yang merupakan produk dari Atmel. Secara umum, arduino dengan mikrokontroler berada dalam posisi untuk membuat program yang dapat mengendalikan berbagai komponen elektronik



Gambar 9. Arduino Uno

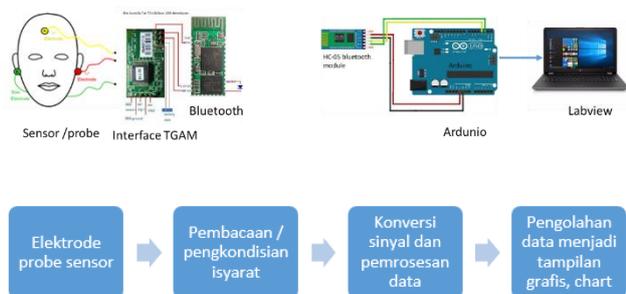
Dalam proyek akhir ini arduino diperlukan untuk menerima dan memproses data dari sensor EEG yang terhubung secara nirkabel dan diteruskan ke PC untuk dipantau secara langsung. Fungsi arduino uno adalah untuk memudahkan pengguna dalam prototyping, program mikrokontroler dan membuat macam-macam alat berbasis mikrokontroler. LabVIEW atau kependekan dari *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* yang ditunjukkan pada gambar 10 merupakan perangkat lunak pemrograman yang diproduksi oleh National Instruments.



Gambar 10. Software LabVIEW [10]

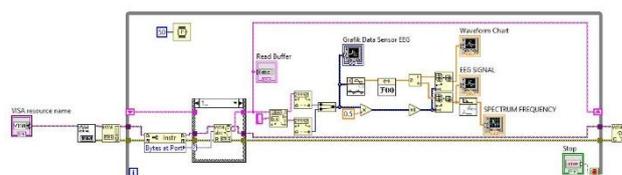
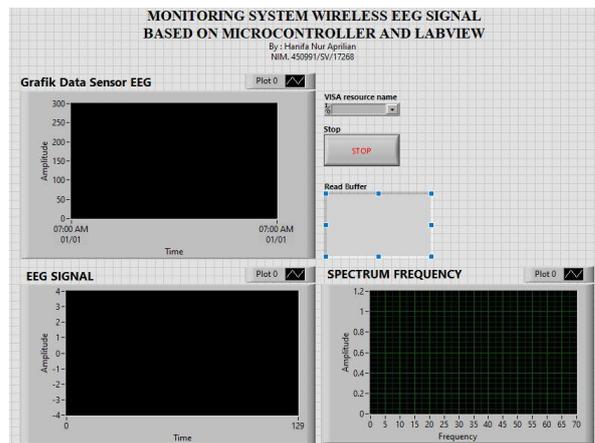
Seperti bahasa pemrograman lainnya yaitu C ++, java, matlab atau visual basic, LabVIEW juga memiliki fungsi dan peran yang setara, perbedaan dari LabVIEW adalah menggunakan bahasa pemrograman atau diagram berbasis grafis sementara bahasa pemrograman lainnya menggunakan teks. Program LabVIEW disebut sebagai VI atau *Virtual Instrument* karena penampilan dan operasinya dapat meniru instrumen. Di LabVIEW, yang dilakukan pengguna adalah membuat antarmuka atau panel depan menggunakan kontrol dan indikator, yaitu tombol, tombol tekan, dial dan peralatan input lainnya sementara indikatornya adalah grafik, LED, dan peralatan tampilan lainnya. Setelah menyusun antarmuka, pengguna kemudian mengatur diagram yang berisi kode VIs untuk mengatur panel depan.

Alur proses kerja sistem diperlihatkan pada gambar 11 dimulai dari penempatan ujung sensor utama pada bagian dahi untuk mendeteksi sinyal-sinyal otak bagian depan. Pada saat yang sama, sensor tersebut mengambil noise yang dihasilkan oleh otot manusia dan dari lingkungan sekitar. Sensor yang kedua diletakkan atau dijepit di telinga yang terdiri dari pentanahan dan referensi. kabel penghubung dan konektor, digunakan untuk menghubungkan antara probe dengan piranti antarmuka.



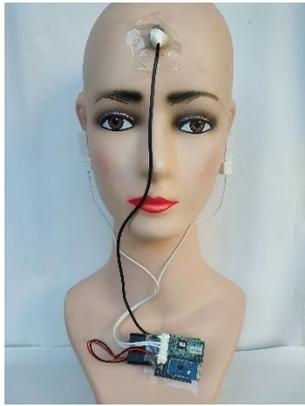
Gambar 11. Alur Sistem

Piranti antarmuka penguat instrumentasi dan rangkaian penapis dalam modul Think Gear ASIC Modul (TGAM) digunakan untuk memproses sinyal. Piranti Bluetooth untuk transmisi data nirkabel. Piranti mikrokontroler Arduino digunakan untuk memproses data analog dan digital, serta transmisi data. Software Labview digunakan untuk membantu tampilan grafis (GUI) isyarat EEG[7]. Osiloskop digunakan untuk pengujian mengetahui bentuk sinyal. Spektrum analyzer untuk pengujian mengetahui spektrum frekuensi transmisi Bluetooth. Rancangan pembuatan GUI sistem pemonitor dengan menggunakan software LabVIEW terlihat pada gambar 12. Dari desain GUI sistem pemonitor dapat diketahui beberapa tampilan diantaranya data sensor EEG berupa angka serta grafik gelombang serta spektrum FFT atau spektrum frekuensi yang terdeteksi pada saat pengujian. Dalam melakukan pengujian, sensor utama modul TGAM diletakkan di kepala bagian depan atau dahi, kemudian kedua sensor yang lain diletakkan atau dijepitkan pada kedua telinga kanan dan kiri. Pengujian diawali dengan menyalakan piranti sensor, beberapa detik kemudian indikator pada modul sensor menyala. Indikator bluetooth HC-05 pada arduino menyala dan otomatis terkoneksi dengan sensor.



Gambar 12. Rancangan GUI untuk Menampilkan Sinyal EEG

Contoh penggunaan serta peletakan ketiga sensor tersebut tampak pada gambar 13. Untuk mengetahui hasil output sensor pada pemonitor LabVIEW, sistem yang dibuat dijalankan kemudian data dari sensor EEG akan tertampil beserta spektrum frekuensinya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui frekuensi kerja sensor pada beberapa kondisi otak manusia dari keadaan tidur terlelap atau rileks sampai keadaan ketika otak sedang aktif bekerja keras.

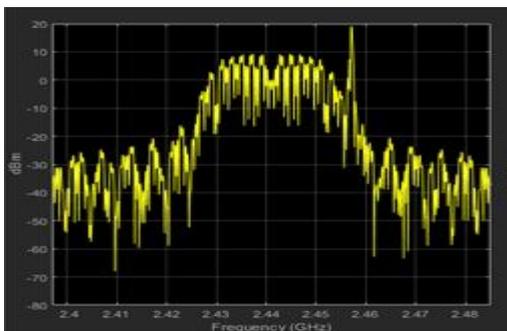


Gambar 13. Contoh Penggunaan Alat dan Peletakan Sensor EEG

Dalam tahapan ini pengujian sistem dilakukan dengan menghubungkan sensor EEG menggunakan komunikasi Bluetooth. Modul Arduino uno dihubungkan dengan modul Bluetooth HC-05 menggunakan kabel jumper. Pengujian dilakukan dengan tujuan agar dapat diketahui bahwa komputer dapat menerima data serial dari sensor EEG. Arduino uno dihubungkan dengan Bluetooth HC-05 menggunakan jumper pada pin-pin konfigurasi. Kemudian arduino uno dihubungkan ke komputer dengan kabel USB. Untuk sensor EEG yang digunakan telah dilengkapi dengan Bluetooth sehingga dapat langsung digunakan ketika saklar dihidupkan dan kedua bluetooth telah *pairing*. Pengujian lain dilakukan untuk mengetahui jarak jangkauan pemancar Bluetooth dan spektrum frekuensi menggunakan instrumen *spectrum analyzer*.

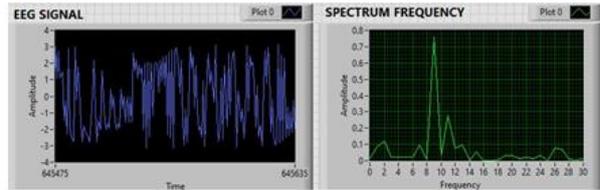
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pertama dilakukan untuk melihat spektrum frekuensi sinyal dan jarak jangkauan komunikasi Bluetooth antara modul sensor dan penerima. Hasil pengukuran menunjukkan frekuensi tengah yang terdeteksi pada 2,44 GHz dengan kekuatan sekitar 10 dBm seperti tampak pada gambar 14. Sedangkan saat diuji jarak jangkauan tanpa halangan (non-LoS) komunikasi Bluetooth mencapai radius 50 meter.



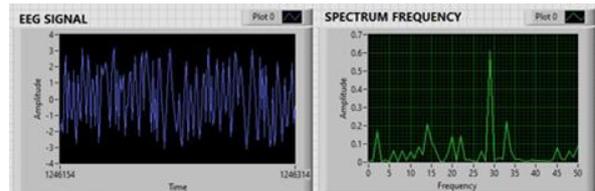
Gambar 14. Hasil Pengukuran Sinyal Bluetooth

Pengujian selanjutnya mengamati sinyal EEG yang terdeteksi untuk empat kondisi otak dari objek seorang manusia. Hasil pengujian secara langsung tertampil pada GUI Labview. Tampilan berupa grafik data sensor, sinyal EEG, dan spektrum frekuensinya.



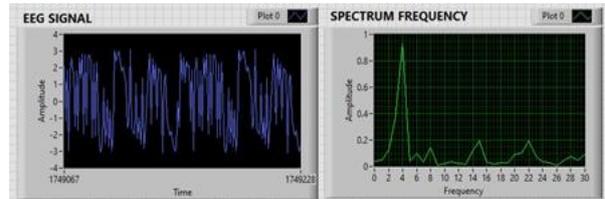
Gambar 15. Gelombang EEG pada Kondisi Objek Rileks

Terlihat pada gambar 15 bahwa saat keadaan rileks, pada ambang (*threshold*) magnitudo 0,4 dB terdeteksi spektrum frekuensi dengan rentang 9-10 Hz. Rentang tersebut termasuk dalam kategori sesuai gelombang otak alfa, yang muncul saat otak rileks.



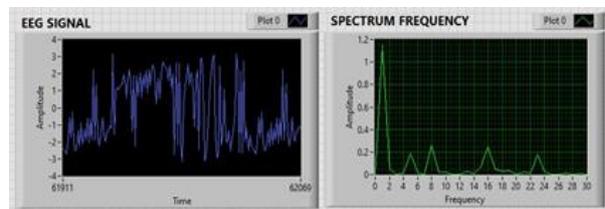
Gambar 16. Gelombang EEG Pada Kondisi Objek Berkonsentrasi

Tampak dari gambar 16 berupa tampilan saat keadaan konsentrasi, pada ambang magnitudo 0,4 dB terdeteksi spektrum frekuensi pada rentang 29-30 Hz. Rentang tersebut termasuk dalam kategori gelombang otak beta, yang muncul saat otak berkonsentrasi.



Gambar 17. Gelombang EEG Pada Kondisi objek Mengantuk

Tampak dari gambar 17 berupa tampilan saat keadaan objek mengantuk, pada ambang magnitudo 0,4 dB terdeteksi spektrum frekuensi pada rentang 3-5 Hz. Rentang tersebut mendekati kategori gelombang otak theta, yang muncul saat otak istirahat tetapi belum sampai terlelap.



Gambar 18. Gelombang EEG Pada Kondisi Objek Tertidur

Gambar 18 menunjukkan tampilan saat keadaan objek tertidur. Pada ambang magnitudo 0,4 dB terdeteksi spektrum frekuensi pada rentang 1-2 Hz. Rentang tersebut mendekati kategori gelombang otak delta, yang muncul saat otak istirahat objek tertidur. Tetapi saat pengujian mengalami kesulitan mengkondisikan objek tertidur lelap karena cukup terganggu dengan tempelan sensor yang ada di kepala.

Setelah melakukan beberapa klasifikasi sinyal EEG dari berbagai kondisi otak manusia, dalam penelitian ini hasil yang didapatkan mendekati dengan teori yang ada. Akan tetapi dalam melakukan pengujian, masih memerlukan kestabilan yang lebih tinggi karena pengujian yang dilakukan secara *realtime* dan gelombang yang tertampil terus bergerak atau kurang stabil. Meskipun demikian data yang telah diperoleh tetap dapat dianalisa dan diketahui perbedaannya dalam berbagai kondisi.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa sistem pemonitor sinyal EEG nirkabel menggunakan transmisi Bluetooth telah dapat mengirimkan data sensor dengan baik, serta dapat terhubung secara otomatis. Hasil pendeteksian sinyal dapat dimonitor secara langsung pada tampilan GUI *software* LabVIEW dan dapat diketahui grafik rentang frekuensinya. Sinyal EEG yang terdeteksi memiliki rentang nilai berbeda-beda tergantung pada aktivitas otak pada saat pengukuran. Keadaan objek saat konsentrasi, rileks, mengantuk, dan tertidur akan mempengaruhi bentuk gelombang otak. Meskipun alat sudah mampu membedakan rentang frekuensi untuk beragam kondisi aktivitas otak, namun masih memerlukan upaya untuk menjaga kestabilan yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Liao et al. (2012). Gaming control using a wearable and wireless EEG-based brain-computer interface device with novel dry foam-based sensors. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9:5
- [2] O'Neill, C. (2017, September 27). EEG Info (Electroencephalogram), Retrieved from <https://cynthiaoneillcpj.wordpress.com/2017/09/27/eeg-info-electroencephalogram/>
- [3] Qing Zhang et al.(2018). A real-time wireless wearable electroencephalography system based on Support Vector Machine for encephalopathy daily monitoring.. *International Journal of Distributed Sensor Networks* Vol. 14(5)
- [4] Seonghun et al. (2020). Design of Wearable EEG Devices Specialized for Passive Brain-Computer Interface Applications. *MDPI Sensors*. 20. 4572.
- [5] Wenyan et al. (2013). Design of a Wireless EEG System for Point-of-Care Applications. 39th Annual Northeast Bioengineering Conference.
- [6] Tombeng, M. T., & Rumayar, R. M. (2017). Light Controlling System by Using Brain Waves Sensor. *Cogito Smart Journal*, 240-248.
- [7] Alfina, R., Arifianto, I., Astharini, D., & Wulandari, P. (2019) Mendisain GUI Untuk Menampilkan Nilai FFT dan IFFT Menggunakan LabVIEW *TESLA*, 50-56.A. S.
- [8] Arga. (2020, July). *Pengertian Arduino Uno dan Spesifikasinya*. Retrieved from Pintar Elektro: <https://pintarelektro.com/pengertian-arduino-uno/>
- [9] Catur. (2018, June 26). *Cara Mudah Mengatur Auto Pairing Bluetooth HC-05 (Antar Bluetooth HC-05)*. Retrieved from Creative Project: [http://www.caturcreativeproject.com/2017/05/cara-mudah-mengatur-auto-pairing\\_10.html](http://www.caturcreativeproject.com/2017/05/cara-mudah-mengatur-auto-pairing_10.html)
- [10] Instruments, N. (2021). *National Instruments*. Retrieved from What is LabVIEW?: <http://www.ni.com>
- [11] NeuroSky. (2011). *ThinkGear ASIC Module (TGAM)*. Retrieved from NeuroSky: <http://www.neurosky.com>
- [12] Thomas, T., James, M., Shaji, R. R., & Pillai, B. C. (2016). Interpretation of Human Stages from EEG Signals Using LabVIEW. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 517-519.
- [13] Tomonagal, K., Wakamizul, S., & Kobayashi, J. (2015). Experiments on classification of electroencephalography (EEG) signals in imagination of . *International Conference on Control, Automation and Systems direction using a wireless portable EEG headset*, 1805-1810.
- [14] Sleep Architecture. (2011). Retrieved from <http://evolutionarypsychiatry.blogspot.com/2011/01/sleep-architecture.html>

# SENSOR ULTRASONIK *WATERPROOF* A02YYUW BERBASIS ARDUINO UNO PADA SISTEM PENGUKURAN JARAK

Dani Yudha Kusuma<sup>1)</sup>, Novita Bayu Permatasari<sup>2)</sup>, Resa Rostira Pebriani<sup>3)</sup>, Imroatul Hudati<sup>4)</sup>  
<sup>1234)</sup>Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
55281, Indonesia  
[daniyudha99@mail.ugm.ac.id](mailto:daniyudha99@mail.ugm.ac.id)<sup>1)</sup>, [novitabayu@mail.ugm.ac.id](mailto:novitabayu@mail.ugm.ac.id)<sup>2)</sup>, [resarostira2017@mail.ugm.ac.id](mailto:resarostira2017@mail.ugm.ac.id)<sup>3)</sup>,  
[imroatul.hudati@ugm.ac.id](mailto:imroatul.hudati@ugm.ac.id)<sup>4)</sup>

*Abstract - Generally, measuring a distance are done manually using conventional meters or other devices. However, now measurements can be done without touching the objects, one of which is distance measurement with ultrasonic sensors that utilize the frequency of transmitters and receivers. The purpose of this study is to digitally measure distance by using an ultrasonic sensor that is waterproof with a type of the Arduino uno-based A02YYUW sensor. The goal of this experiment is a measurement of distance by sensors that is compared to the actual distance at the distance of 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 250cm, 300cm, 350cm and 400cm. The measurement results obtained in the form of error values and accuracy. The highest error value is 14% with 86% accuracy at a test distance of 50 cm and the lowest error value is 0% with 100% accuracy at 400cm test distance.*

*Keywords: Ultrasonic sensor A02YYUW, Arduino Uno, and distance measurement*

**Intisari** – Umumnya pengukuran panjang dilakukan dengan manual menggunakan meter konvensional atau perangkat lainnya. Namun, sekarang ini pengukuran dapat dilakukan tanpa menyentuh objek yang akan diukur, salah satunya yaitu pengukuran jarak dengan sensor ultrasonik yang memanfaatkan frekuensi pemancar dan penerima. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan pengukuran jarak secara digital dengan menggunakan sensor ultrasonik yang berjenis *waterproof* dengan tipe sensor A02YYUW berbasis Arduino Uno. Tujuan dari eksperimen ini adalah mengukur jarak menggunakan sensor dan dibandingkan dengan pengukuran sebenarnya pada jarak 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 250cm, 300cm, 350cm dan 400cm. Hasil pengukuran yang didapatkan berupa nilai *error* dan akurasi. Nilai *error* tertinggi yaitu 14% dengan akurasi 86% pada jarak uji 50 cm dan nilai *error* terendah adalah 0% dengan akurasi 100% pada jarak uji 400cm.

**Kata kunci:** Sensor ultrasonik A02YYUW, Arduino Uno, dan pengukuran jarak

## I. PENDAHULUAN

Semakin pesatnya perkembangan teknologi membuat tuntutan akan efisiensi dan kepraktisan dalam berbagai bidang semakin tinggi. Seperti halnya di bidang elektronika yang menciptakan berbagai sistem pengendali berbasis digital dan nirkabel yang sangat bermanfaat pada perkembangan teknologi saat ini contohnya pada perlintasan palang pintu kereta api. Pada palang pintu kereta api, digunakan berbagai macam sensor untuk mendeteksi adanya kereta yang mendekati perlintasan. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi adanya kereta yang akan mendekat. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pengukuran pada sensor ultrasonik yang akan digunakan dan akan dianalisa besar akurasi sensor tersebut.

Terciptanya sebuah sensor ultrasonik yang memanfaatkan gelombang suara yang dilengkapi dengan pemancar (*transmitter*) serta penerima (*receiver*) gelombang suara yang bekerja pada

frekuensi 40 KHz merupakan implementasi dari teknologi nirkabel. Prinsip kerja dari sensor ultrasonik yaitu dengan memancarkan sinyal ke sasaran atau objek yang akan dituju, setelah sampai ke objek yang dituju maka, sinyal tersebut akan dipantulkan. Kemudian sinyal yang dipantulkan akan diterima oleh penerima dari sensor ultrasonik [1]. Sensor ultrasonik dapat mengkonversi gelombang suara ke dalam beberapa satuan yaitu jarak, ketinggian, dan kecepatan [2]. Dengan adanya sensor pengukuran suatu besaran dapat dilakukan secara digital seperti halnya pengukuran jarak yang menggunakan sensor ultrasonik. Oleh karena itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk melakukan pengukuran jarak secara digital menggunakan sensor ultrasonik A02YYUW berbasis Arduino Uno.

Terdapat berbagai macam penelitian dengan menggunakan sensor ultrasonik. Pada [3] sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian level air. Penelitian tersebut, sensor

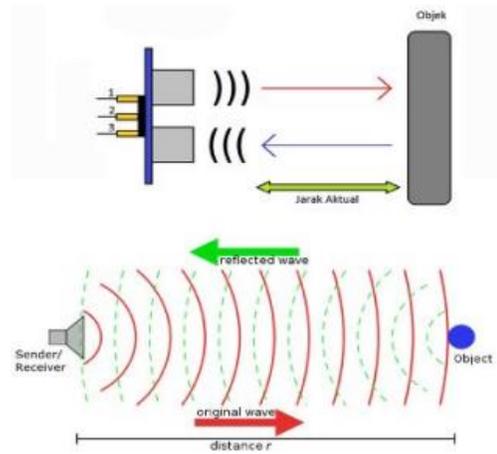
akan mendeteksi jarak benda yang diberikan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega16.

Penelitian tentang pengujian sensor ultrasonic sudah banyak dilakukan. Pada penelitian [4] dilakukan dengan menggunakan sensor ultrasonik sebagai pendeteksi aliran air dalam pipa. Sensor ultrasonik digunakan sebagai pendeteksi ketinggian air di dalam tanki yang nantinya perubahan ketinggian air akan dibandingkan dengan kecepatan aliran air pada pipa menggunakan sensor *waterflow*.

Penelitian [5] berikutnya adalah penggunaan sensor ultrasonik untuk mendeteksi benda secara tegak lurus. Penelitian ini menggunakan persamaan garis lurus untuk mendapatkan nilai yang sesuai.

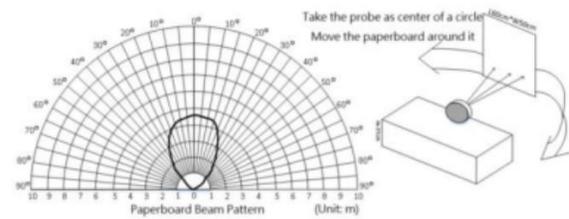
## II. DASAR TEORI

Sensor ultrasonik merupakan sensor yang bekerja dengan prinsip pantulan gelombang suara untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tertentu yang berada di depannya, Sensor ultrasonik bekerja pada frekuensi 40KHz sampai dengan 400 KHz. Pemancar (*receiver*) pada sensor ultrasonik menggunakan kristal *piezoelectric* yang dihubungkan dengan mekanik jangkak dan hanya mampu dihubungkan dengan diafragma penggetar saja. Kontraksi yang terjadi pada *piezoelectric* tersebut akan diteruskan oleh diafragma penggetar, sehingga akan terjadi gelombang ultrasonik yang dipancarkan ke udara. Pantulan pada gelombang ultrasonik akan terjadi apabila terdapat objek tertentu dan pantulan pada gelombang ultrasonik akan diterima kembali oleh unit sensor penerima yang terpadat pada sensor ultrasonik. Unit penerima pada sensor akan menyebabkan diafragma bergetar dan efek *piezoelectric* menghasilkan tegangan bolak-balik dengan frekuensi yang sama [1].



Gambar 2. 1 Prinsip sensor ultrasonik<sup>[6]</sup>

Sensor ultrasonik tipe A02YYUW merupakan salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk mengukur jarak dari suatu objek. Sensor A02YYUW akan mendeteksi benda pada rentan sudut tertentu, yang tertampil pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Rentan sudut sensor untuk mendeteksi objek<sup>[7]</sup>

Gambar 2.2 menampilkan semakin kecil sudut benda yang dibuat dengan sensor, maka range jarak benda yang dideteksi akan semakin besar.

Perangkat ini memiliki empat pin keluaran yaitu VCC sebagai *power input*, GND sebagai *ground*, RX sebagai penerima sinyal dan TX sebagai pemancar sinyal [3]. Tabel 2.1 menampilkan spesifikasi dari sensor.

Gambar 2. 3 Sensor ultrasonik A02YYUW<sup>[7]</sup>

Tabel 2. 1 Karakteristik sensor ultrasonic A02YYUW

Spesifikasi	Nilai
Tegangan operasi	3.3 - 5 V
Standby current	≤ 5 mA
Average current	≤ 8 mA
Blind Zone	3 cm
Distance	
Ranging distance for object	3 – 450 cm
Output	UART
Response time	100 ms
Sensing angle	100°

Arduino Uno merupakan mikrokontroler berbasis ATmega328 yang bersifat *open source*. Arduino deprogram menggunakan *platform Arduino IDE (Integrated Development Environment)*. *Software* tersebut berfungsi untuk mengunggah bahasa pemrograman berupa kode biner ke dalam memori. Arduino uno memiliki 14 pin input/output digital (6 pin PWM), 6 pin input analog, USB, koneksi *jack* DC, header ICSP, tombol *reset*, osilator kristal, komunikasi *serial* dan pengatur tegangan[4].

Tabel 2. 2 Karakteristik Arduino Uno<sup>[8]</sup>

Spesifikasi	Nilai
Tegangan operasi	5 V
Tegangan input	7 V-12 V (disarankan)
Pin digital I/O	14 (6 PWM)
Pin analog	6
Arus DC untuk pin	40 mA
Arus DC per I/O	2,2V 50 mA

Flash Memori	32 KB, dimana 0,5 KB digunakan oleh <i>bootloader</i>
SRAM	2 KB
EEprom	1KB
Clock	16 MHz

Gambar 2. 4 Arduino Uno<sup>[8]</sup>

### III. METODELOGI

Pada penelitian ini, digunakan mikropengendali Arduino Uno, sensor ultrasonik *waterproof* A02YUWW, kabel jumper dan laptop berisi *software* Arduino IDE. Perancangan alat ini dilakukan dengan menghubungkan 4 pin pada sensor ultrasonik A02YYUW ke Arduino Uno. Dimana pin VCC terhubung pada 5 V, pin GND terhubung pada *ground*, pin TX (pemancar) terhubung pada pin digital 10 dan pin RX (penerima) terhubung pada digital 11. Sensor ultrasonik ini berfungsi sebagai pendeteksi jarak suatu objek yang diproses melalui mikrokontroler Arduino Uno. Nilai jarak tersebut akan tertampil pada *serial monitor* laptop. Skema dari perancangan alat ini terdapat pada Gambar 3.2. Gambar 3.1 merupakan *flowchart* langkah kerja pengukuran yang dilakukan



Gambar 3. 1 Flowchart pengukuran jarak benda

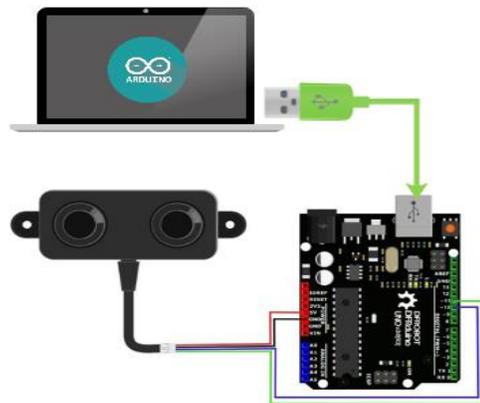
Pemrosesan data dari nilai masukan yang diberikan oleh sensor kepada mikrokontroler Arduino Uno dilakukan dengan program yang terdapat pada Gambar 3.2. Program tersebut akan mengolah data sehingga keluaran yang tertampil berupa nilai jarak dalam satuan centimeter (cm). Ketika jarak yang terdeteksi < 3cm maka tertampil *error* karena rentang pengukuran sensor dari 3 cm sampai 450 cm.

Pengujian alat ukur jarak dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan jarak pada sensor dan nilai jarak sebenarnya yang dijadikan sebagai standar. Pengujian sensor dilakukan pada 8 titik pengujian yaitu pada jarak 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm, 300 cm, 350 cm, dan 400 cm dengan serial monitor sebagai penampil nilai. Dari hasil nilai yang didapatkan akan dihitung nilai error dan akurasi menggunakan persamaan 1 dan 2<sup>[10]</sup>.

$$Presentasi\ Error = \left| \frac{X-Y}{Y} \right| \times 100\% \quad (1)$$

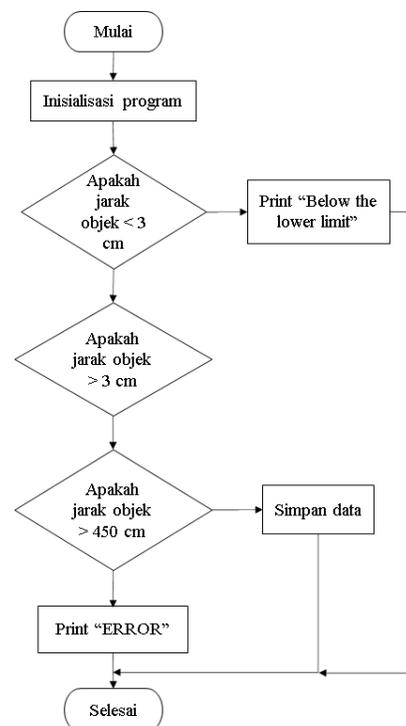
$$Akurasi = (100 - Error)\% \quad (2)$$

Dimana *X* merupakan nilai parameter referensi (standar) dan *Y* adalah nilai parameter terukur (uji).



Gambar 3. 2 Skema rangkaian sensor A02YYUW

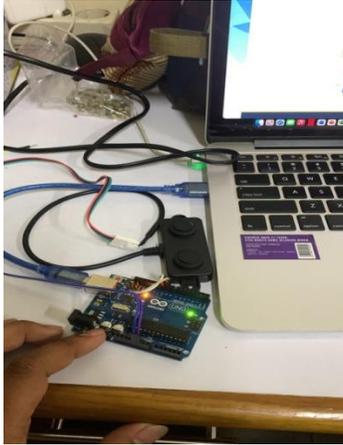
Data pengukuran yang telah didapatkan, akan diolah dengan menggunakan Arduino Uno sehingga didapatkan selisih nilai pengukuran sensor terhadap nilai jarak benda yang sesungguhnya. Gambar 3.3 menampilkan *flowchart* program pada Arduino Uno untuk mengukur dan menyimpan data yang akan diolah.



Gambar 3. 3 Flowchart program pengukuran jarak dengan sudut 0°

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu alat ukur jarak menggunakan sensor ultrasonik A02YYUW berbasis Arduino Uno seperti pada Gambar 4.1. Pada sensor jarak ini, dilakukan pengujian dengan membandingkan nilai jarak pembacaan pada sensor dengan nilai jarak sebenarnya. Nilai jarak sebenarnya merupakan nilai jarak yang diukur menggunakan meter konvensional. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 4.1.



Gambar 4. 1 Perancangan alat ukur jarak dengan sensor ultrasonik A02YYUW

Tabel 4. 1 Hasil pengujian jarak menggunakan sensor ultrasonik A02YYUW

No	Jarak Sebenarnya (cm)	Jarak Pembacaan Sensor (cm)	Error (5)	Akurasi (%)
1	50	43	14,0	86,0
2	100	94	6,0	94,0
3	150	145	3,3	96,7
4	200	195	2,5	97,5
5	250	244	2,4	97,6
6	300	296	1,3	98,7
7	350	346	1,1	98,9
8	400	400	0,0	100,0

Pengujian sensor dilakukan pada 8 titik uji yaitu 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm, 300 cm, 350 cm dan 400 cm. Titik pengujian jarak yang dipilih sesuai dengan range dari sensor ultrasonik A02YYUW yaitu 3 cm sampai 450 cm. Hasil pengujian sensor tertampil pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 terlihat jika pada titik pengujian 50 cm sampai 350 cm nilai pembacaan jarak pada sensor tidak sama dengan nilai jarak sebenarnya sehingga munculnya nilai error pada pengujian. Nilai *error* terbesar yaitu 14% dengan akurasi 86% pada pengujian jarak 50 cm, sedangkan pada jarak 400 cm tidak ditemukan nilai *error* karena nilai pembacaan pada sensor sama dengan nilai jarak sebenarnya. Semakin jauh jarak uji yang diberikan, maka nilai akurasi sensor semakin besar.

Ketidaktepatan sensor dalam mengukur dapat terjadi karena beberapa faktor salah satunya adalah bidang pembatas/bidang pantul yang digunakan tidak tegak lurus sehingga mempengaruhi nilai pembacaan jarak pada sensor.

#### V. KESIMPULAN

Pengukuran jarak dengan menggunakan sensor ultrasonik A02YYUW dapat dilakukan sehingga dapat diketahui karakteristik dari sensor tersebut dalam penerapannya. Pengukuran jarak dengan menggunakan sensor ultrasonik A02YYUW dilakukan pada titik 50 cm sampai 400 cm dengan nilai *error* tertinggi yaitu 14% pada jarak 50 cm dan *error* 0% pada jarak 400 cm. Titik pengujian sesuai dengan range dari sensor yaitu 3 cm sampai 450 cm. Sensor A02YYUW bekerja maksimal ketika jarak pengujian mendekati nilai maksimum yaitu 450 cm.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saragih, Berlin, and Chandra Bancin. "Perancangan Pengukuran Jarak Secara Wireless Menggunakan Sensor Gelombang Ultrasonik Berbasis Arduino Uno ATmega328 Dengan Tampilan Di Laptop." *Jurnal Teknologi Energi Uda*, 2020: 74-80.
- [2] Puspasari, Fitri, Imam Fahrurrozi, Trias Prima Satya, Galih Setyawan, Muhammad Rifqi Al Fauzan, and Estu Muhammad Dwi Admono. "Sensor Ultrasonik HCRS04 Berbasis Arduino Due Untuk Sistem Monitoring Ketinggian." *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2019: 36-39.

- 
- [3] Arief,U.M. (2011). Pengujian Sensor Ultrasonik PING untuk Pengukuran Level Ketinggian. *Jurnal Ilmiah "Elektrikal Enjiniring" UNHAS, Volume 09/ No.02.*
- [4] Ikhsan, A.F., Mulyadi, T., & Saparingga, C. L. (2020). Prototyping Pendeteksi Aliran Air Otomatis pada Pompa. *Jurnal FUSE-Teknik Elektro, Jurnal Vol. 11.*
- [5] Suari, M. (2008). Pengujian Sensor Jarak HC-SR04 Pada Percobaan Gerak Lurus Suatu Benda. *Jurnal Penelitian Bidang IPA dan Pendidikan IPA, Vol 4, No 2.*
- [6] ElangSakti. (2019). *Cara Kerja Sensor Ultrasonik, Rangkaian, & Aplikasinya.* Retrieved from ElangSakti: [https://media.digikay.com/pdf/Data%20Sheet s/DFRobot%20PDFs/SEN0311\\_Web.pdf](https://media.digikay.com/pdf/Data%20Sheet%20DFRobot%20PDFs/SEN0311_Web.pdf)
- [7] DFRobot. *A02YYUW Su Gecirmez Ultrasonik Sensor.* 11 21, 2019.
- [8] Arduino. (2021). *Arduino Uno Rev3.* Retrieved from Store Arduino: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/>
- [9] Shields, Trevor. *Rancang Bangun Alat Ukur Jarak Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino Uno Dengan Tampilan LCD.* Tugas Akhir, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [10] Kalsi, H. (2010). *Electronic Instrumentation 3th Edition.* New Delhi: Tata McGraw-Hill.

# IMPLEMENTASI FILTER KALMAN PADA SENSOR JARAK BERBASIS ULTRASONIK

Ervan Surya Aby Nugroho<sup>1</sup>, Nerissa Diana Resty<sup>2</sup>, Imroatul Hudati<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Fakultas Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

ervan.surya.abby@mail.ugm.ac.id<sup>1</sup>, [nerissadiana99@mail.ugm.ac.id](mailto:nerissadiana99@mail.ugm.ac.id)<sup>2</sup>, imroatul.hudati@ugm.ac.id

**Abstract** – *The existence of noise in sensor system can lead to the decreasing of control system performance.. The existence of this noise due to several reasons, like the low specifications of the device, interference with external signals, the complexity of the measurements state. Therefore, it's necessary to prevent or attempt to get a control response from a system with good performance. In this study, Kalman Filter algorithm (FK) was utilized for ultrasonic sensor use. Kalman filter estimates the proper measured values from ultrasonic sensor. The type of ultrasonic sensor used is HC-SR04 which capable to detect the distances range from 3 cm to 350 cm. The AFK is implemented using the ATMEGA328P microcontroller on the Arduino Uno board. The algorithm is then tested with 5 different distances. The results show that AFK is able to reduce ultrasonic sensor measurement noise. The analysis show that the standard deviation significantly decrease. Showed by the average of the standard deviation of the five tests decreasing from 0.3831 to 0.0173 or almost 95,5%.*

**Keywords** : distance sensor, noise, signals, Kalman filter, HC-SR04

**Intisari** – Kehadiran derau pada pengukuran dari perangkat sensor dapat memberikan dampak yang besar terhadap penurunan performa sistem kendali. Kehadiran dari *noise* tersebut bisa diakibatkan dari banyak faktor, misalnya terkait rendahnya spesifikasi perangkat, gangguan sinyal luar (eksternal), kerumitan dari pengukuran yang dilakukan. Dengan dampak yang diberikan tersebut maka perlu adanya pencegahan atau upaya untuk mendapatkan respons kendali dari sistem dengan performa yang baik. Terlebih apabila sensor tersebut diterapkan pada palang pintu kereta api yang pastinya akan mendapat banyak noise dari lingkungan sekitar. Pada penelitian ini, algoritma Filter Kalman (AFK) digunakan pada sensor ultrasonik. Filter tersebut dibuat untuk mengatasi derau pengukuran dari sensor. Jenis sensor ultrasonik yang digunakan adalah HC-SR04 yang dapat mendeteksi jarak pengukuran mulai dari 3 cm sampai dengan 350 cm. AFK tersebut diimplementasikan menggunakan *microcontroller* ATMEGA328P yang ada pada *board* Arduino Uno. Algoritma tersebut diuji dengan lima jarak pengukuran yang berbeda-beda. Hasilnya menunjukkan bahwa AFK mampu memberikan estimasi yang tepat dari sensor ultrasonik. Analisa data menunjukkan bahwa variabel standar deviasi pengukuran memiliki penurunan yang signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai rata-rata dari standar deviasi dari kelima pengujian turun dari 0.3831 menjadi 0.0173 atau mengalami penurunan sekitar 95,5%.

**Kata kunci** : sensor jarak, derau, sinyal, Filter Kalman, HC-SR04

## I. PENDAHULUAN

Palang pintu kereta api menjadi salah satu hal yang cukup penting dalam sistem keamanan lalu lintas. Banyaknya kecelakaan yang diakibatkan oleh perlintasan kereta api yang tidak diberikan keamanan menjadi hal yang harus sangat diperhatikan. Pengembangan perlintasan sistem kereta api menjadi sangat diperlukan, salah satunya adalah dengan memberikan beberapa sensor sebagai pendeteksi adanya obyek yang akan mendekat. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian Kalman filter pada sensor ultrasonik yang nantinya akan diterapkan pada sistem perlintasan kereta api. Pada pengukuran yang dilakukan oleh sensor ultrasonik, hasil pengukuran tidak sesuai dengan nilai yang diharapkan karena adanya derau.

Terdapat beberapa cara untuk mengurangi dampak dari derau tersebut, salah satunya adalah dengan melakukan penyaringan data atau *filtering process*. Terdapat dua bentuk implementasi dari penyaringan data tersebut, yang pertama adalah dengan mendesain secara elektronik dan yang kedua secara digital melalui desain algoritma pemrograman data. Namun, penerapan secara elektronik kurang efektif dikarenakan harus menambah rangkaian elektronik baru pada sistem yang ada. Sehingga untuk mengatasi kelemahan tersebut tahap *data filtering* dibuat dalam bentuk algoritma pemrograman. Metode *filtering* ini selain tidak membutuhkan rangkaian elektronis tambahan

performa *filtering* yang dihasilkan juga lebih akurat karena menggunakan pengolahan data dengan komputer.

Pada penelitian atau peper ini berfokus pada desain dari proses algoritma Filter Kalman (FK) untuk mengolah data akuisisi dari sensor jarak berbasis ultrasonik. Filter Kalman merupakan filter data berbasis algoritma komputer yang pertama kali ditemukan oleh R. E. Kalman, yang pertama kali dikenalkan pada tahun 1960 melalui artikel publikasinya [1]. Filter Kalman bekerja dengan melakukan estimasi pada proses pengukuran jarak. Adapun Filter Kalman yang dibuat diterapkan pada sensor jarak berbasis ultrasonik yaitu pada modul sensor HC-SR04. sensor ultrasonik tersebut merupakan sensor yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi jarak. Penerapan dari modul sensor ultrasonik biasanya terdapat dalam komputasi komputer, serta pada sistem kontrol seperti dalam robot pemadam kebakaran [2], pengatur atau pemantau level ketinggian air [3], dan juga bisa diterapkan pada sistem pengereman otomatis pada kendaraan [4].

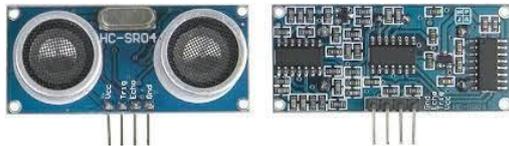
Telah banyak studi atau penelitian terkait pengembangan sekaligus terkait penerapan dari AFK dengan menggunakan sensor jarak berbasis ultrasonik tersebut, berikut adalah yang pertama terkait penerapan AFK dengan pengaplikasian pada pemantau level ketinggian air dengan perangkat sensor ultrasonik [5], serta yang terbaru terkait penerapan dari algoritma *Extended Kalman Filter* (EKF) dalam pengembangan dari sensor jarak ultrasonik, *Inertial*

Measurement Unit (IMU), dan Magnetometer pada pesawat luar angkasa [6].

Berbeda dengan penelitian atau studi yang telah dilakukan sebelumnya, pada penelitian atau studi yang dilakukan ini secara khusus membahas atau menguraikan tahapan atau proses terkait perancangan FK untuk diterapkan pada sensor jarak berbasis ultrasonik tipe HC-SR04 yang telah banyak diaplikasikan pada pengolahan atau komputasi melalui komputer. Adapun desain dari FK tersebut dijelaskan dengan mudah sehingga sangat mudah untuk dipelajari. Fokus dari penelitian ini adalah terkait analisa performa dari algoritma Filter Kalman yang telah dibuat. Pembahasan detail terkait perbandingan variasi *error* dari data pengukuran terhadap variasi *error* data pengukuran dengan penambahan Filter Kalman, juga terkait parameter standar deviasi dan perbandingan dari parameter *Mean Square Error* (MSE) untuk melihat bagaimana kinerja dari algoritma Filter Kalman yang telah dibuat.

### II. SENSOR JARAK ULTRASONIK

Perangkat sensor ultrasonik yang digunakan adalah tipe HC-SR04 yang mampu mendeteksi jarak dari suatu objek. Sensor yang digunakan tersebut mampu mendeteksi jarak mulai dari 3 cm sampai dengan 350 cm. Jika objek berada diluar jangkauan tersebut maka nilai yang akan ditampilkan adalah nilai minimal atau maksimalnya. Pada sensor ultrasonik tersebut terdapat dua pemancar yang terdiri dari *transmitter* dan juga *receiver*. Sebagai *output* dari modul sensor, terdapat empat pin yang merupakan pin dari Vcc, Trig, Echo, dan Gnd seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Modul sensor ultrasonik, tampak depan (kiri) dan tampak belakang(kanan) (*datasheet*).

Sensor jarak tersebut bekerja mendeteksi jarak objek dengan memancarkan gelombang ultrasonik melewati *transmitter* dan kemudian dipantulkan kembali oleh objek di depan sensor, serta diterima oleh bagian *receiver* dari modul sensor tersebut. Gelombang ultrasonik tersebut dipicu dari pin Trigger yang diberi pulsa sinyal oleh *microcontroller*. Kemudian pantulannya diterima kembali oleh bagian *receiver* dan kemudian data tersebut dikirim ke *microcontroller* melalui pin Echo. Secara konsep gelombang ultrasonik baru akan dipancarkan ketika pin Trigger mendapat pulsa sinyal selama 10  $\mu$ s. Adapun gelombang ultrasonik tersebut merupakan runtun pulsa dengan frekuensi 40 Khz. Adapun hasil sela waktu antara pancaran *transmitter* sampai diterima kembali oleh *receiver* tersebut digunakan untuk menghitung jarak dari sensor dengan objek. Sehingga pengukuran jarak tersebut dapat diturunkan menjadi rumus persamaan 1 berikut.

$$s = 1kT \tag{1}$$

Dengan mengetahui bahwa *s* merupakan jarak yang dicari, kemudian *T* merupakan waktu transmisi gelombang dalam satuan mikro detik, dan *k* adalah merupakan konstanta pengukuran. Adapun konstanta pengukuran dari *k* tersebut

jika pengukuran dalam cm, maka menggunakan nilai *k*=58, sedangkan dalam inci, maka menggunakan nilai *k*=148. Selain itu hasil pembacaan jarak juga dapat diperoleh dengan mengalikan kecepatan transmisi dengan waktu yang dibutuhkan dari pemancaran gelombang ultrasonik sampai kembali lagi, serta hasil kali tersebut dibagi dengan nilai dua. Sensor ultrasonik tersebut bekerja dengan spesifikasi yaitu membutuhkan tegangan DC sebesar 5 volt serta arus sebesar 15 mA, memiliki frekuensi kerja sebesar 40 KHz, memiliki kemampuan deteksi jarak minimal 3 cm dan maksimal 350 cm, memiliki dimensi P 26 / 20 mm, T 18 mm, dan memiliki berat 20 gram.

### III. DESAIN ALGORITMA FILTER KALMAN

#### A. Desain Perhitungan Filter Kalman.

Algoritma Filter Kalman (AFK) bekerja dengan melakukan perkiraan atau estimasi dari sebuah proses pengukuran dengan memanfaatkan *feedback control*, filter tersebut pertama membutuhkan estimasi *state* awal dari suatu proses pada satu waktu yang selanjutnya menerima *feedback* atau umpan balik berupa hasil pengukuran sensor yang masih ditambah *noise* atau derau. Persamaan AFK bisa dibagi menjadi dua tahap utama, yaitu *stage prediction* dan *correction phase*. Pada tahap prediksi, adapun algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\hat{x}_k^{(-)} = F\hat{x}_{(k-1)} + Bu_{(k-1)} \tag{2}$$

$$p_k^{(-)} = Fp_{(k-1)}F^T + Q \tag{3}$$

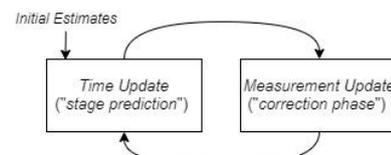
Dengan  $\hat{x}_k^{(-)}$  merupakan *priori state* estimasi untuk posteriori dari *state*  $\hat{x}_k$  dan  $p_k^{(-)}$  merupakan *priori covariance* matriks dari estimasi *error*, sedangkan Q merupakan matriks *noise covariance* dari proses pengukuran. Kemudian pada *correction phase*, algoritma yang digunakan merujuk pada persamaan berikut.

$$K_k = p_k^{(-)}H^T (HP_k^{(-)}H^T + R)^{-1} \tag{4}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^{(-)} + K_k (z_k - H\hat{x}_k^{(-)}) \tag{5}$$

$$p_k = (1 - K_kH)p_k^{(-)} \tag{6}$$

Dengan variabel  $K_k$  yang merupakan gain Kalman yang berfungsi untuk menurunkan *posteriori error covariance matrix error*  $p_k$  dan *R* adalah *covariance matrix* dari *noise* pengukuran. Desain dari tahap kedua AFK dapat diamati diagram alur iterasinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram dari Algoritma Filter Kalman.

Adapun AFK pada penerapannya pada sensor ultrasonik merujuk pada persamaan (2) dan persamaan (6). Kemudian model tersebut diasumsikan dengan berdasar pada parameter-parameter berikut.

$$F = [1] \tag{7}$$

$$B = [0] \tag{8}$$

$$H = [1] \tag{9}$$

Kemudian pada selanjutnya terkait nilai dari matriks Q dapat ditentukan dengan nilai yang bebas dan nilai dari matriks R ditentukan berdasar dari varians pengukuran jarak pada sensor. Sehingga dengan melakukan substitusi pada parameter yang telah diketahui nilainya pada persamaan (2) dan persamaan (6) didapatkan persamaan baru berikut.

$$\hat{x}_k^{(-)} = \hat{x}_{(k-1)} \tag{10}$$

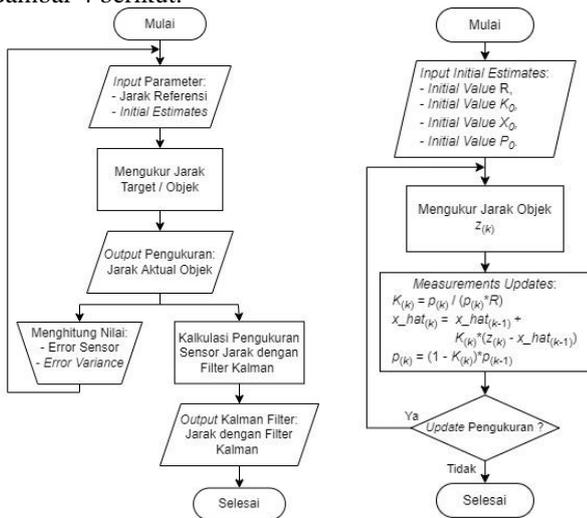
$$P_k^{(-)} = P_{(k-1)} \tag{11}$$

$$K_k = \frac{P_k^{(-)}}{P_k^{(-)} + R} \tag{12}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^{(-)} + K_k(z_k - \hat{x}_k^{(-)}) \tag{13}$$

$$P_k = (1 - K_k)P_k^{(-)} \tag{14}$$

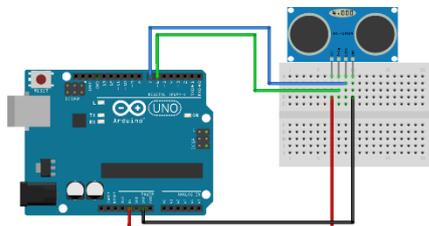
Mulai dari persamaan (10) sampai dengan persamaan (14) tersebut selanjutnya diimplementasikan dalam bentuk bahasa pemrograman dengan bantuan *software* Arduino IDE. Adapun lebih jelasnya terkait *flowchart* dari desain algoritma pemrograman yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 3. Flowchart Sistem Pengukuran (kiri) dan Flowchart Desain Algoritma Filter Kalman (kanan).

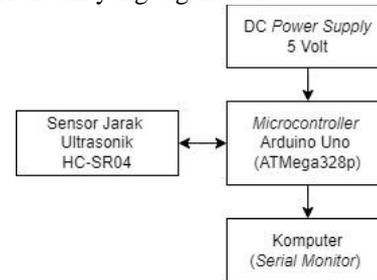
**B. Implementasi Hardware.**

Perangkat elektronik yang digunakan adalah sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai perangkat akuisisi data, *microcontroller* Arduino Uno ATmega328p sebagai pengolah data, dan PC atau laptop untuk melakukan *input* desain AFK. Adapun sensor ultrasonik yang digunakan sebagai perangkat akuisisi telah diuji terkait pengimplementasian AFK pada Arduino Uno seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Desain Rangkaian Sensor Ultrasonik dan Arduino Uno.

Sensor ultrasonik terhubung dengan *microcontroller* melalui pin 6 Arduino untuk mendapatkan pulsa sinyal sebagai *trigger* sensor, lalu terhubung juga ke pin 7 arduino untuk mengirimkan hasil pengukuran yang selanjutnya diolah pada *microcontroller*, serta juga membutuhkan DC *supply* dari Arduino Uno untuk mengaktifkan modul sensornya. Berikut pada Gambar 5 merupakan detail blok diagram dari sistem yang digunakan.



Gambar 5. Blok Diagram Sistem.

Pengolahan utama atau pusat dari implementasi AFK berada pada *microcontroller* Arduino Uno, yang mana data dari sensor dikirimkan menuju *microcontroller*. Data tersebut dikirimkan ke komputer atau laptop sesuai dengan Tabel 1 berikut.

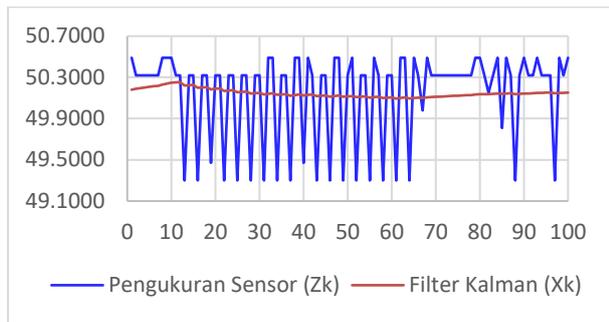
Tabel 1 Parameter Akuisisi Data

Parameter	Value
Baudrate Serial	9600
Data Format	ASCII
Data Type	float
Com Port	COM4
Sampling Time	0.5 detik

**IV. HASIL PENGUJIAN**

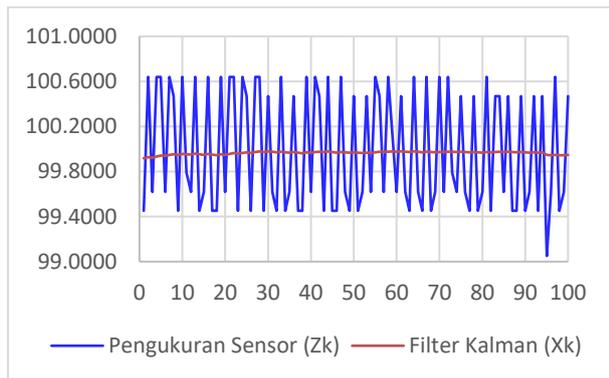
Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengukuran jarak oleh sensor ultrasonik yang nilainya masih fluktuatif seperti tampak pada Gambar 6 hingga Gambar 10. Kondisi ini kemudian akan diperbaiki menggunakan filter Kalman. Sehingga pada grafik terdapat 2 garis dengan warna yang berbeda, dimana warna biru menunjukkan hasil dari pembacaan sensor jarak, sedangkan warna merah menunjukkan hasil dari data pengukuran jarak setelah diberi Filter Kalman.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran dengan 5 variasi jarak atau target yang berbeda, mulai jarak 50 mm sampai 250 mm. Kemudian, masing-masing pengukuran dilakukan pengambilan data sebanyak 100 data. Adapun gambar pada masing-masing percobaan akan dijelaskan lebih lanjut. Gambar 6 di bawah menunjukkan pembacaan jarak dan data filter Kalman pada referensi jarak 50 mm.



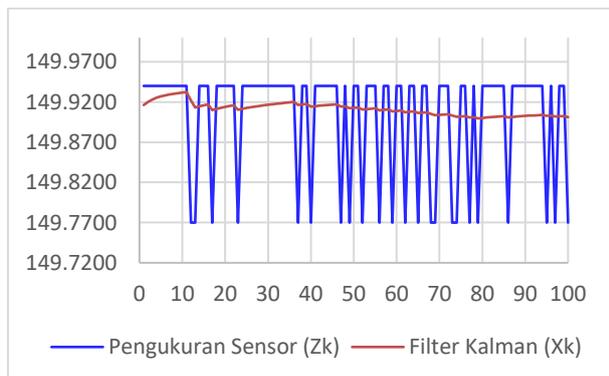
Gambar 6. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 50 mm

Grafik di atas menunjukkan fluktuasi pada hasil pembacaan sensor jarak (garis warna biru) dengan jarak rata-ratanya 50.1517 mm, sedangkan dari garis warna merah menunjukkan hasil yang lebih stabil yakni pada rata-rata jarak pengukuran 50.1468 mm. Adapun standar deviasi yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor jarak pada target 50 mm adalah 0.4297, dan setelah diberi filter Kalman standar deviasinya menjadi 0.0395. Selanjutnya merupakan hasil dari pembacaan jarak dan data filter Kalman pada target jarak 100 mm yang ditunjukkan pada gambar 7 di bawah ini:



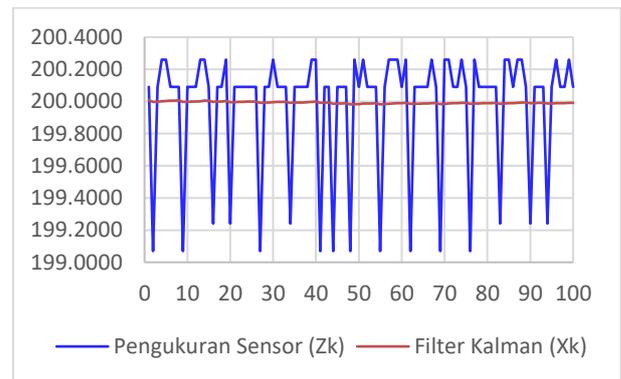
Gambar 7. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 100 mm

Jarak rata-rata dari hasil pembacaan sensor adalah 99.9934 mm sedangkan hasil sensor jarak setelah diberi filter Kalman yakni 99.9648 mm. Kemudian standar deviasi yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor jarak pada target 100 mm adalah 0.5250, dan setelah diberi filter Kalman standar deviasinya turun menjadi 0.0131.



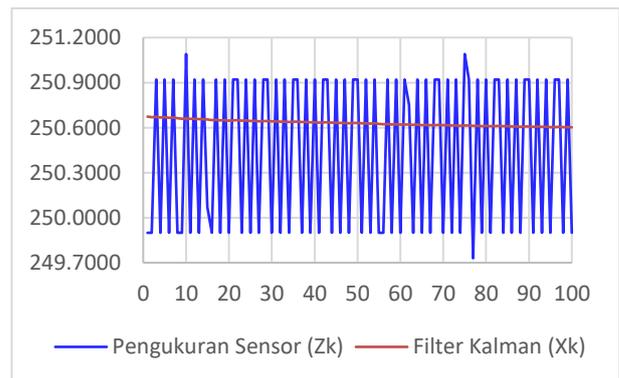
Gambar 8. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 150 mm

Gambar 8 menunjukkan pembacaan jarak dan data filter Kalman pada target 150 mm. Grafik berwarna biru menunjukkan nilai pengukuran sensor jarak sensor. Jarak rata-rata dari pembacaan sensor adalah 149.9009 mm sedangkan hasil sensor jarak rata-rata setelah diberi filter Kalman yakni 149.9113. Adanya AFK (Algoritma Filter Kalman) juga berpengaruh terhadap standar deviasi, dimana pada pembacaan sensor jarak dengan target 150 mm memiliki standar deviasi 0.0715, dan setelah diberi filter Kalman standar deviasinya turun menjadi 0.0082. Grafik berikutnya merupakan hasil dari pembacaan jarak dan data filter Kalman pada target jarak 200 mm yang ditunjukkan pada gambar 9 berikut:



Gambar 9. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 200 mm

Rata-rata hasil pembacaan sensor jarak pada target 200 mm adalah 199.9795 mm sedangkan hasil rata-rata sensor jarak dari data filter Kalman yakni 199.9924 mm. Kemudian standar deviasi yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor jarak sebelum diberi filter Kalman adalah 0.3774, dan setelah diberi filter Kalman menjadi 0.0061.



Gambar 10. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 250 mm

Adapun dari Gambar 10 di atas rata-rata jaraknya adalah 250,4423mm dan rata-rata jarak setelah ditambahkan filter Kalman adalah 250,6306 mm. Nilai standar deviasi yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor jarak pada target 50 mm adalah 0.5121 dan setelah diberi filter Kalman standar deviasinya menjadi 0.0195. Dari keseluruhan grafik, baik dari target 50 mm hingga target jarak 250 mm, tampak

bahwa hasil estimasi jarak menggunakan filter Kalman dapat mengurangi fluktuasi data hasil pengukuran.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Jarak Rata-Rata Sensor Ultrasonik

No	Jarak Aktual (mm)	Jarak Pengukuran Rata-Rata (mm)	Standar Deviasi
1	50	50,1517	0,4297
2	100	99,9934	0,5250
3	150	149,9009	0,0715
4	200	199,9795	0,3774
5	250	250,4423	0,5121

Tabel 3. Hasil Estimasi Jarak Rata-Rata Menggunakan Filter Kalman

No	Jarak Aktual (mm)	Jarak Pengukuran Rata-Rata (mm)	Standar Deviasi
1	50	50,1468	0,0395
2	100	99,9648	0,0131
3	150	149,9113	0,0082
4	200	199,9924	0,0061
5	250	250,6306	0,0195

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan pengukuran jarak rata-rata sensor ultrasonik dan standar deviasi pengukuran jarak sebelum diberi filter Kalman dan sesudah diberi filter Kalman. Rata-rata standar deviasi dari hasil pengukuran sensor jarak yakni 0,3831. Sedangkan standar deviasi dari pengukuran sensor jarak yang telah diberi filter Kalman adalah 0,0173. Dimana, standar deviasi merupakan besar perbedaan dari nilai sampel terhadap rata-rata.

Tabel 4. Perbandingan Standar Deviasi Pengukuran Dan Standar Deviasi Estimasi Filter Kalman

No	Jarak Aktual (mm)	Standar Deviasi Pengukuran	Standar Deviasi Filter Kalman
1	50	0,4297	0,0395
2	100	0,5250	0,0131
3	150	0,0715	0,0082
4	200	0,3774	0,0061
5	250	0,5121	0,0195
	Rata-rata	0,3831	0,0173

Tabel 4 menunjukkan perbandingan standar deviasi pengukuran jarak tanpa Filter Kalman dan dengan Filter Kalman. Dari hasil pengukuran menunjukkan dengan Filter Kalman, standar deviasi turun dari 0,3831 menjadi 0,0173 atau mengalami penurunan sebesar 95,5 %.

Tabel 5. Perbandingan Hasil MSE Pengukuran dan MSE Filter Kalman

No	Jarak Aktual (mm)	MSE Pengukuran	MSE Filter Kalman
1	50	0,2077	0,0231
2	100	0,2757	0,0014
3	150	0,0149	0,0079
4	200	0,1428	0,0001
5	250	0,4579	0,3980
	Rata-rata	0,2198	0,0861

1	50	0,2077	0,0231
2	100	0,2757	0,0014
3	150	0,0149	0,0079
4	200	0,1428	0,0001
5	250	0,4579	0,3980
	Rata-rata	0,2198	0,0861

Adapun pada Tabel 5 menunjukkan perbandingan MSE pengukuran jarak tanpa filter Kalman dan dengan MSE filter Kalman. MSE Pengukuran sensor jarak sebesar 0,2198, sedangkan MSE Filter Kalman sebesar 0,0861 atau mengalami penurunan sebesar 60,8 %. Sehingga dari penelitian ini menunjukkan bahwa filter Kalman mampu mengurangi/menghilangkan *noise* yang menjadi penyebab *error*. Terbukti adanya filter Kalman yang dapat meminimalkan *Mean Square Error* (MSE). Sehingga, semakin kecil nilai MSE maka semakin kecil kesalahan hasil prediksi atau semakin akurat hasil peramalan.

## V. KESIMPULAN

Algoritma Filter Kalman (AFK) telah berhasil dirancang dan diuji untuk sistem akuisisi data pada sensor ultrasonik jenis HC-SR04. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma AFFK adalah mampu mengurangi *noise* pada pengukuran yang dihasilkan oleh sensor. Analisa data menunjukkan bahwa variabel standar deviasi pengukuran memiliki penurunan yang signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai rata-rata dari standar deviasi dari kelima pengujian turun dari 0,3831 menjadi 0,0173 atau mengalami penurunan sekitar 95,5%. Penerapan AFK memberi pengaruh pada penurunan nilai MSE dari pengukuran. Hal tersebut dibuktikan dengan rata-rata nilai MSE dari kelima pengujian turun dari 0,2198 menjadi 0,0861 atau mengalami penurunan sekitar 60,8%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," *Journal of Basic Engineering*, Vol. 82, No. 1, pp. 35-45, 1960
- [2] A. Alawiah and A.R. Al Tahtawi, "Sistem Kendali dan Pemantauan Ketinggian Air pada Tangki Berbasis Sensor Ultrasonik," *KOPERTIP: Jurnal Ilmiah Manajemen Informatika dan Komputer*, Vol. 01, No. 01, pp. 25-30, 2017.
- [3] F. Suryatini, J. Kustija, and E. Haritman, "Robot Cerdas Pemadam Api Menggunakan Ping Ultrasonic Range Finder dan Uvtron Flame Detector Berbasis Mikrokontroler ATmega128," *Electrans*, Vol. 12, No. 1, pp. 29-38, 2013.
- [4] N.C. Basjaruddin, Kuspriyanto, Suhendar, D. Saefudin, and V.A. Azis, "Hardware Simulation of Automotive Braking System Based on Fuzzy Logic Control," *Journal Of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-6, 2016.
- [5] B. H. Iswanto, I. F. Parmono, and M. Delina, "Kalman filtering to real-time trace water level measurements using ultrasonic sensor," *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1402, no. 4, p. 044105, 2019.
- [6] Z. Wang, "Motion Measurement Using Inertial Sensors, Ultrasonic Sensors, and Magnetometers with Extended Kalman Filter," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 12, No. 5, pp. 943-953, 2012.

## KENDALI POSISI MOTOR DC DENGAN MENGGUNAKAN KENDALI PID

Imroatul Hudati<sup>1</sup>, Alief Purnomo Aji<sup>2</sup>, Salima Nurrahma<sup>3</sup>,  
<sup>1 2 3</sup>Universitas Gadjah Mada

[imroatul.hudati@ugm.ac.id](mailto:imroatul.hudati@ugm.ac.id), [alief.purnomo.aji@mail.ugm.ac.id](mailto:alief.purnomo.aji@mail.ugm.ac.id), [salima.nurrahma@mail.ugm.ac.id](mailto:salima.nurrahma@mail.ugm.ac.id),

**Abstract** – One type of motor that is often used in electronics, industry and other general fields is a direct current (DC) motor. The Proportional Integral Derivative (PID) control is a widely used method in various topic of researches. This controller is developed using a mathematical method and has characteristic values that are close to some real systems. Then, the research continued with mathematical analysis and simulation on a software. PID control systems are widely used in the industrial world due to their toughness in overcoming problems. However, there are some shortcomings in the PID control system such as the tuning method which is done by trial and error. In this experiment, the P, I and D gain selection procedure is carried out by analyzing the system model with the target is to produce a Settling Time. The system is made to obtain a settling time of (ts) 5% and a steady state error of 0.

**Keywords** : DC Motor, PID controller, mathematics model, second order system, settling time, error steady state, Matlab.

**Intisari** – Salah satu jenis motor yang sering digunakan pada bidang elektronika, industry dan bidang umum lainnya yaitu Motor arus searah (DC). Pengembangan pengendalian *Proportional Integral Derivative* (PID) merupakan bidang yang banyak dijadikan penelitian. Pengendali ini dikembangkan menggunakan metode matematis dan memiliki nilai karakteristik yang mendekati beberapa system nyata. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan analisis secara matematis dan simulasi pada sebuah perangkat lunak. Sistem kendali PID banyak digunakan pada dunia industry disebabkan kketangguhannya dalam mengatasi permasalahan. Akan tetapi, terdapat beberapa kekurangan pada system kendali PID seperti metode penalaan yang dilakukan dengan cara *trial and error*. Pada percobaan dan penelitian kali ini menggunakan prosedur pemilihan gain P,I dan D yang dilakukan dengan menganalisa model system. Sistem kendali ini diolah untuk menghasilkan Setting Time Sistem dibuat agar memperoleh *settling time* sebesar (ts) 5% dan *error steady state* adalah 0.

**Kata kunci** : Motor arus searah (DC), Kendali PID, Model Matematika, Sistem orde 2, *Settling time*, *error steady state*, Matlab.

## I. PENDAHULUAN

Pada perkembangan teknologi yang sangat pesat terjadi saat ini terdapat salah satu hal yang mendukung hal ini yaitu Motor arus searah (DC) hal ini dikarenakan Motor DC merupakan jenis motor yang mudah dikendalikan sehingga motor ini menjadi pilihan para pengguna untuk diterapkan di beberapa aplikasi yang memerlukan pengaturan kecepatan motor. Motor jenis ini merupakan motor yang memiliki kecepatan, arah putar, dan laju yang dapat diatur dengan mudah sesuai dengan kebutuhan [1]. Contoh penerapan motor DC yaitu perlintasan palang pintu kereta api. Pada peratalan ini motor DC berperan penting untuk membuka dan menutup perlintasan palang pintu kereta api dan mengendalikannya. Maka dari itu pengendalian motor DC menjadi hal penting dalam sistem perlintasan kereta api ataupun pada penerapan lainnya. Pada penelitian ini juga dipelajari cara pengendalian posisi dan pengaturan motor DC.

Penelitian pengaturan kecepatan motor DC telah banyak dilakukan. Pengaturan kecepatan pada motor DC menjadi tahapan langkah penting dalam penggunaan motor DC, akan tetapi hasil kecepatan putar motor DC mengalami penurunan dan tidak konstan diakibatkan dari pengaruh

pembebanan. Permasalahan ini dapat diatasi dengan perancangan sistem kontrol kecepatan agar system dapat berjalan sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Suatu system control sangat dibutuhkan untuk otomasi dan akurasi dalam sebuah proses[1]. Sistem kontrol juga bermanfaat untuk mempermudah suatu pekerjaan dalam segi efektivitas dan segi efisiensi. System control kecepatan motor DC yang baik yaitu sebuah kontroler yang bisa mengendalikan sebuah system dengan baik.

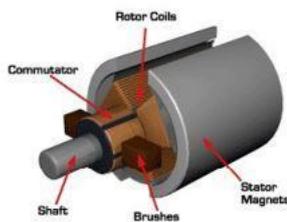
## II. DASAR TEORI

### A. Motor DC

Motor arus searah (DC) merupakan salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan dalam lingkungan industri, kehidupan sehari – hari hingga banyak juga digunakan pada piranti pendukung sistem instrumen elektronika. Dimana motor listrik merupakan suatu perangkat elektomagnetis yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau gerak. Motor DC juga diaplikasikan pada peralatan portabel seperti mesin cetak, tempat sampah otomatis dan lain – lain. Sumber masukan pada motor DC menggunakan daya listrik yaitu tegangan dan arus listrik dimana keluaran

dari motor DC berbentuk daya mekanik yaitu berupa torsi dan kecepatan rotor [2].

Karakteristik dari variabel – variabel yang berperan sebagai fungsi waktu pada kondisi transien dan kondisi tunaknya merupakan hal yang perlu diperhatikan selama pengendalian motor DC. Selain menggunakan daya listrik sebagai sumber motor DC juga menggunakan sumber jala – jala AC melalui sistem penyearah. Terdapat beberapa penyearah pada rangkaian elektronika, akan tetapi penyearah yang sering dan umum digunakan yaitu penyearah dioda sistem jembatan gelombang penuh. Suatu penyearah pasti memiliki karakteristik yang berbeda – beda dan karakteristik ini mempengaruhi tegangan masukan pada motor DC sehingga juga akan mempengaruhi bentuk gelombang arus yang dihasilkan dan hal ini juga mempengaruhi torsi dan kecepatan rotor [3]. Agar mengetahui hubungan antara variabel – variabel ini harus dianalisis terlebih dahulu hubungan antar variabel dengan cara membuat model parameter – parameter motor listrik seperti resistansi, induktansi, inersia serta gesekan dimana nilai ini semua bergantung pada dimensi beban dan motor.



Gambar 2.1 motor DC

Secara umum konstruksi pada motor DC meliputi:

#### 1. Stator

Bagian stator adalah bagian yang didalamnya terdapat magnet permanen dan dapat menghasilkan medan magnet untuk memutar rotor yang berada diantara kutub magnet. Jika berdasarkan gerak atau tidaknya, stator merupakan bagian motor yang diam pada motor DC. Jika stator diberi catu daya DC pada kumparan medan (*field windings*) maka akan menghasilkan medan magnet yang konstan. Oleh sebab itu stator pada sebuah motor DC dapat dikatakan penghasil medan magnet utama [4].

#### 2. Rotor

Bagian selanjutnya yaitu Rotor yang merupakan kebalikan dari stator. Dimana rotor merupakan bagian motor DC yang bergerak dan rotor terbentuk dari inti besi yang dililitkan kumparan [4]. Kumparan yang dimaksud yaitu kumparan jangkar saat GGL induksi pada motor dihasilkan. Pada bidang robotika, rotor digunakan untuk

menggerakkan roda yang terdapat pada sebuah robot dan membuat perputaran dan pergerakan robot pada lintasan berjalan dengan baik. Kecepatan putaran dari rotor tergantung dari sumber tegangan yang digunakan serta medan magnet yang dihasilkan. Jika sumber tegangan yang digunakan besar maka akan menghasilkan perputaran rotor yang semakin cepat karena hubungan antara keduanya berbanding lurus.

#### 3. Air gap/celah udara

*Air gap* atau celah udara adalah suatu celah yang memisahkan antara bagian rotor dan bagian stator pada motor DC. Fungsi celah udara pada motor DC sangatlah penting agar motor dapat berputar. Jika tidak terdapat celah udara maka bagian rotor dan bagian stator akan bergesekan atau bersinggungan dan mengakibatkan perputaran tidak dapat dihasilkan [4].

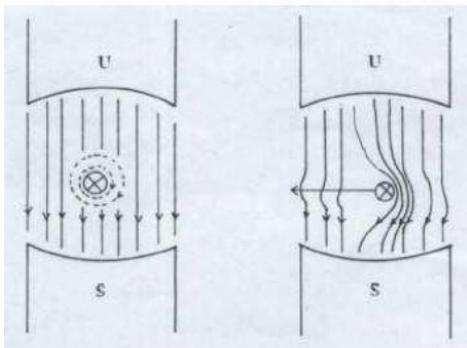
#### 4. Brushes

Selanjutnya bagian *Brushes* dimana bagian ini terlatak pada sisi komutator yang berfungsi untuk menyalurkan listrik ke motor [4]. Bahan pembuat *brushes* biasanya yaitu terbuat dari karbon, logam graphite yang merupakan campuran karbon dan grafit serta dilengkapi dengan pegas penekan dan kotak sikarnya. Bahan karbon yang digunakan untuk membuat *brushes* ini diharuskan memiliki nilai konduktivitas tinggi agar dapat mengurangi rugi – rugi listrik serta menghasilkan nilai koefisien gesekan yang rendah untuk mengurangi keausan.

### B. Prinsip Kerja Motor DC

Motor DC merupakan jenis transduser dimana motor ini dapat mengkonversi sebuah energi dari energi listrik menjadi energi mekanik. Pada medan magnet proses konversi ini terjadi. Prinsip kerja sederhana dari motor DC dimulai dari saat arus ( $I$ ) masuk melalui sebuah konduktor maka menghasilkan garis – garis gaya magnet yang disebut fluks [5]. Sebuah fluks memiliki arah yang mana arah ini bergantung pada arah arus yang mengalir atau bergantung pada letak terjadinya perbedaan nilai potensial tegangan yang dimiliki. Sehingga muncul hubungan arah arus dan arah medan magnet pada motor DC. Terdapat beberapa metode untuk mengetahui arah arus listrik dan medan magnet salah satunya dapat menggunakan kaidah tangan kanan maka arah dari variabel – variabel tersebut dapat diketahui.

Proses berputarnya motor DC diakibatkan karena terdapat dua medan magnet yang saling berinteraksi satu sama lain. Medan magnet yang utama yaitu medan magnet yang berada pada bagian stator dan medan magnet yang kedua merupakan medan magnet yang dihasilkan pada jangkar.



Gambar 2.2 Back/Counter Electromotive Force (GGL Lawan)

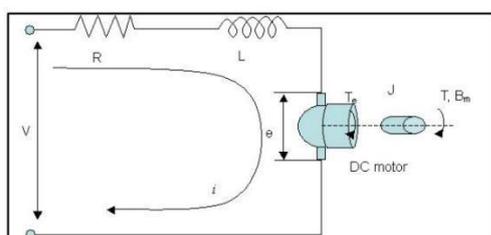
Gerakan motor DC sesuai dengan prinsip Faraday dimana saat motor telah bergerak atau berputar maka jangkar juga akan berputar di dalam medan magnet stator sehingga pada jangkar akan menghasilkan tegangan induksi. Hasil tegangan dari jangkar ini disebut sebagai GGL lawan dimana nilai ini akan mengurangi besar tegangan pada jangkar [1].

### III. PERSAMAAN

#### A. Model Matematika Motor DC[6]

Melalui pendekatan rangkaian secara ekuivalen dapat dibuat model matematika dari sebuah Motor DC. Model matematika motor DC dapat dihasilkan dari sebuah rangkaian ekuivalen yang menggunakan prinsip – prinsip hubungan elektromekanik serta hukum dasar dari rangkaian listrik [7]. Hasil persamaan atau model matematika yang telah dihasilkan dapat digunakan untuk menganalisa gerakan motor dan mempertimbangkan cara dalam perancangan teknik pengaturan yang akan digunakan.

Sebuah rangkaian ekuivalen motor DC sangat bergantung dari nilai – nilai variabel yang mempengaruhinya seperti nilai resistansi *armature* ( $R_a$ ), tegangan induktansi ( $E_a$ ) serta nilai induktansi dalam ( $L_a$ )[8]. Input yang digunakan pada motor DC berupa energi listrik karena motor DC merupakan jenis transduser sehingga terjadinya pengkonversian energi dari energi listrik akan terkonversi hingga menjadi energi gerak (mekanik) dalam bentuk nilai torsi ( $T$ ) serta nilai kecepatan putar ( $\omega_m$ ) yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 Rangkaian Ekuivalen Motor DC

Apabila terdapat motor DC yang memiliki nilai hambatan serta induktansi kumparan masing – masing  $R$  dan  $L$  yang berputar tanpa beban dengan kelembaman  $J = 0$  dan gesekan  $B_m = 0$  maka akan menghasilkan hubungan tegangan serta arus listrik pada rangkaian tertutup dapat dituliskan pada persamaan berikut:

$$V = e_a + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \tag{1}$$

Dimana:

- $V$  = Tegangan sumber (V)
- $e_a$  = Tegangan induksi (V)
- $R_a$  = Resistansi *armature* ( $\Omega$ )
- $i_a$  = Arus *armature* (A)
- $L_a$  = Induktansi *armature* (H)

$$e_a = k_1 \phi \frac{60}{2\pi} \omega(t) \tag{2}$$

Dengan

- $k_1$  = Konstanta dimensi motor
- $\phi$  = Fluks magnetis kutup motor (Wb)
- $\frac{60}{2\pi}$  = Putaran rotor (rpm)
- $\omega(t)$  = Kecepatan sudut rotor (rad/s)

Apabila nilai kutup motor adalah magnet permanen maka nilai  $\phi$  akan bernilai konstan maka menghasilkan persamaan 2 menjadi:

$$e_a = K\omega(t) \tag{3}$$

Konstanta *armature* dapat dicari menggunakan persamaan 4 dibawah ini:

$$K = k_1 \phi \frac{60}{2\pi} \omega(t) \tag{4}$$

Apabila nilai persamaan 3 disubstitusi dengan persamaan 1 maka akan menghasilkan sebuah persamaan seperti berikut:

$$V = R i_a + L \frac{di_a}{dt} + K\omega(t) \tag{5}$$

Hukum Newton merupakan salah satu hukum yang digunakan sebagai patokan pada struktur mekanik sebuah motor DC yang diperoleh dengan persamaan torsi dibawah ini:

$$\tau(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) = K i_a(t) \tag{6}$$

Keterangan:

- $J$  = Momen Inersia motor DC
- $B$  = Konstanta terdaman system mekanis (Nms)

Hasil persamaan 5 dan persamaan 6 dapat ditransformasikan dalam bentuk persamaan Laplace yang menggunakan asumsi kondisi awal yang digunakan sama dengan nol maka akan menghasilkan sebuah persamaan:

$$V = (R + sL)I_a(t) + K\omega(t) \quad (7)$$

Maka dari itu diperoleh nilai  $I_a$  sebagai berikut,

$$I_a(s) = \frac{V + K\omega(s)}{R + sL} \quad (8)$$

Dan

$$T(s) = (B + sJ)\omega(s) = KI_a(s) \quad (9)$$

Berdasarkan persamaan 8 maka diperoleh nilai kecepatan sudut  $\omega(s)$  sebagai berikut

$$\omega(s) = \frac{KI_a(s)}{B + sJ} \quad (10)$$

Persamaan 7 dan persamaan 8 maka akan dihasilkan fungsi alih antara masukan tenggangan (V) dan keluaran arus *armature* ( $I_a$ ) sebagai berikut:

$$\frac{I_a(s)}{V_s(s)} = \frac{Js + B}{(Js + B)(Ls + R) + K^2} \quad (11)$$

Jika pada kumparan medan terdapat arus medan konstan yang mengalir maka torsi motor akan memiliki nilai yang diperoleh dengan persamaan berikut:

$$T_m(s) = (K_1 K_f I_f) I_a(s) = K_m I_a(s) \quad (12)$$

Terdapat hubungan antara arus jangkar dengan tegangan input pada rangkaian jangkar yang sesuai dengan persamaan berikut:

$$V_a(s) = (R_a + L_a s) I_a(s) + V_b(s) \quad (13)$$

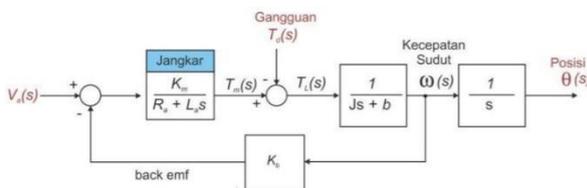
Nilai dari  $V_b(s)$  yang terdapat pada persamaan diatas merupakan nilai tegangan *back electromotive forse* (emf) yang mana nilainya sebanding dengan kecepatan motor sehingga persamaan dapat ditulis seperti berikut:

$$V_b(s) = K_b \omega(s) \quad (14)$$

Dengan arus jangkar

$$I_a(s) = \frac{V_a(s) - K_b \omega(s)}{R_a + L_a s} \quad (15)$$

Hubungan antara motor DC dengan pengendali jangkar dapat dituliskan secara skematis melalui diagram blok dibawah ini



Gambar 3.2 Blok Diagram Motor DC

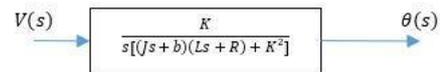
Berdasarkan diagram blok diatas maka akan dihasilkan fungsi alih motor DC sebagai berikut:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s[(Js + B)(Ls + R) + K^2]} \quad (16)$$

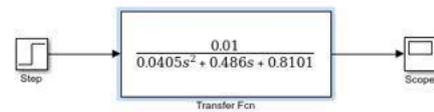
Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah

- $J = 0.01 \text{ kg.m}^2$
- $B = 0.1 \text{ N.m.s}$
- $L = 4.05 \text{ H}$
- $R = 8.1 \Omega$
- $K = 0.01$

Terdapat diagram *blok loop* terbuka desain motor DC yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.4 Diagram blok loop terbuka TF

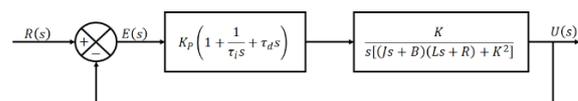


Gambar 3.5 Desain loop terbuka motor DC Matlab

Kedua diagram blok diatas merupakan salah satu contoh dari penggunaan rangkaian dengan persamaan *open loop*.

#### IV. PERANCANGAN KENDALI PID

Kendali PID merupakan kendali yang memiliki sifat proporsional, integral, dan *derivative* terhadap sinyal kesalahan. Blok diagram sistem dengan kendali PID ditampilkan pada Gambar 3, dimana input dari kendali PID merupakan besar kesalahan antara output terhadap *input* sistem.



Dengan menentukan nilai penguatan  $K_p$ , waktu integral  $\tau_i$ , dan waktu differensial  $\tau_d$  yang tepat diharapkan respon sistem orde 2 dapat sesuai dengan yang diharapkan. Persamaan kendali PID adalah sesuai dengan Persamaan 17

$$\frac{E(s)}{U(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \quad (18)$$

Perancangan kendali PID pada penelitian ini menggunakan analisa model matematika sistem. Pada persamaan 16, didapatkan model matematika sistem merupakan orde 2, dimana persamaan orde 2 dapat ditulis menjadi seperti Persamaan 18

$$G(s) = \frac{K}{\frac{1}{\omega_n^2} s^2 + 2\xi \omega_n s + 1} \quad (18)$$

Apabila persamaan 16 dimasukkan ke dalam persamaan 18, maka akan didapatkan

$$\begin{aligned} K &= 0.0123 \\ \omega_n &= 4.5 \\ \xi &= 0.0667 \end{aligned} \tag{19}$$

Sehingga untuk mendapatkan nilai  $\tau_i$  dan  $\tau_d$ , dilakukan dengan memasukkan nilai *settling time* yang diharapkan. Pada penelitian ini, dibuat agar nilai  $t_s = 5\%$ , sehingga

$$\begin{aligned} t_s(5\%) &= 3\tau^* \approx 5 \text{ detik} \\ \tau^* &= \frac{5}{3} \text{ detik} = 1.67 \text{ detik} \end{aligned} \tag{19}$$

Waktu integral didapatkan dengan menggunakan persamaan 20

$$\tau_i = \frac{2\xi}{\omega_n} = \frac{2(0.0667)}{4.5} = 0.029 \tag{20}$$

Waktu *derivative* didapatkan dari persamaan 21

$$\tau_d = \frac{1}{2\xi\omega_n} = \frac{1}{2(0.0667)(4.5)} = 1.665 \tag{21}$$

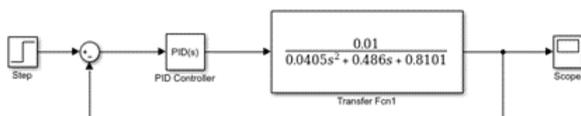
Konstanta proporsional atau  $K_p$  dapat diketahui dari persamaan 22

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{2\xi}{\tau^*\omega_n K} \\ &= \frac{2(0.0667)}{\left(\frac{5}{3}\right)(4.5)(0.0123)} = 1.449 \end{aligned} \tag{22}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon suatu sistem kontrol selalu menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai *steady-state*. Dalam perancangan sistem kendali PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.

Diagram blok loop tertutup dengan adanya sistem kontroler PID dapat dibuat menggunakan aplikasi software matlab seperti pada gambar dibawah ini.



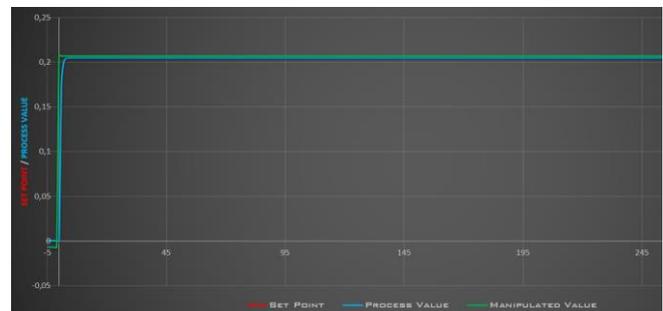
Gambar 4.1 Diagram blok loop tertutup pengontrol PID dengan *Matlab*

Parameter PID

Sistem motor DC yang baik mampu menunjukkan perpindahan poros motor yang sangat tepat. Permintaan performansi yang lain yaitu motor mampu mencapai keadaan putaran akhir yang sangat cepat. Dalam hal ini, waktu penetapan (*settling time*) kurang dari 2 detik dan

overshoot kurang dari 5% dan pada keadaan *steady state* eror kurang dari 1%.

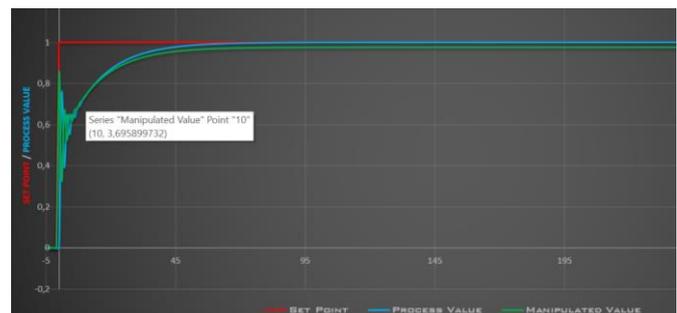
Fungsi alih yang dimasukkan dalam matlab dengan mendefinisikan numerator dan denumerator sebagai vektor dan parameter step final value 1, maka diperoleh respon step loop terbuka sebagaimana gambar dibawah ini.



Gambar 4.2 Respon Transien Loop terbuka motor DC

Nilai set point yang diberikan adalah 1. Didapatkan bahwa, respon motor DC tidak dapat mencapai nilai set point. Pada Gambar 4.2 terlihat jika respon sistem hanya mencapai nilai 0.2, sehingga diperlukan sebuah pengendali agar respon sistem dapat mencapai *set point* yang diharapkan.

Simulasi PID



Gambar 4.3 Hasil simulasi PID

Berdasarkan perhitungan dari Persamaan 19 – 22, maka didapatkan hasil *closed loop* pengendalian motor DC seperti pada Gambar 4.3. Terdapat osilasi sebelum respon mencapai *set point*. Osilasi terjadi selama 3.5 detik. Respon sistem mencapai set point pada 4.5 detik.

V. KESIMPULAN

Agar dapat memahami proses kerja suatu sistem pengendalian listrik dapat dilakukan metode simulasi pada sebuah perangkat lunak. Pada penelitian ini simulasi Pengendalian motor DC dilakukan menggunakan software *Matlab Simulink*. Dengan mengembangkan persamaan - persamaan matematis dasar serta hubungan elektromekanis yang dapat mengatur pengendalian motor maka model sistem pengendalian motor DC dapat dihasilkan dan digunakan pada software simulasi.

Beberapa persamaan dasar yang ada itu dapat diturunkan dari sebuah rangkaian ekuivalen mesin menggunakan

hukum – hukum dasar rangkaian listrik yang sudah ada. Dari persamaan – persamaan yang telah disubstitusikan satu sama lain hingga menjadi persamaan yang baku maka dapat dilanjutkan dengan membuat diagram blok dari persamaan tersebut. Diagram blok ini dibuat menggunakan Simulink sebagai representasi dari sebuah komponen sistem pengendalian motor DC.

Terdapat banyak metode dan model pengendalian atau pengaturan yang dapat dikembangkan dan digunakan untuk mempelajari penggunaan teknik – teknik pengaturan lain pada sistem kemudi motor DC. Dengan mensimulasikan ini pada blok diagram PID yang digunakan dalam sistem di atas dapat diganti dengan menggunakan blok teknik pengaturan lainnya sehingga akan menghasilkan pengaturan motor DC dengan teknik berbeda.

Desain diagram PID yang dibuat menggunakan aplikasi software matlab. Memiliki momen inersia, konstanta gesekan, resistensi kumparan, dan induktansi kumparan sebesar 0.01 kgm<sup>2</sup>, 0.1 Nms, 8.1 ohm, dan 4.05 H menghasilkan nilai *rise time* fungsi alih, *overshoot*, dan amplitudo sebesar 1.094 s, 0.502%, dan 0.01193. Dengan dilakukan desain pengendali motor DC dengan *block loop* tertutup pengontrol PID dapat mengurangi nilai *rise time* pada fungsi alih rancangan. Penggunaan kecepatan 13 rad/s pada kontroler PID dengan nilai *settling time* 0.68 s dan *overshoot* 3.02% memiliki nilai *rise time* terendah sebesar 136.893 ms.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. N. Yuski, W. Hadi, and A. Saleh, “Rancang Bangun Jangkar Motor DC (The Rotor of DC Motor Design),” *Berk. Sainstek*, vol. 5, no. 2, pp. 98–103, 2017.
- [2] M. A. Habibi and H. Purnomo, “Kajian Penggunaan Motor Listrik DC Sebagai Penggerak Speedboat,” *J. Mhs. Tek. Elektro Univ. Brawijaya*, no. 167, pp. 1–7, 2014.
- [3] R. Harahap and S. Nofriadi, “Analisa Perbandingan Efisiensi Dan Torsi Dengan Menggunakan Metode Penyadapan Sejajar Terhadap Metode Pergeseran Sikat Pada Motor Arus Searah Kompon Pendek Dengan Kutub Bantu,” *J. Electr. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 105–111, 2019.
- [4] A. Wahid Ibrahim, T. Wahyu Widodo, and T. Wahyu Supardi, “Sistem Kontrol Torsi pada Motor DC,” *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.)*, vol. 6, no. 1, p. 93, 2016, doi: 10.22146/ijeis.10775.
- [5] E. F. Schmidt, P. H. O. Martins, M. L. C. De Oliveira, and A. Trofino, “Control Engineering Practice Radio-frequency positioning for airborne wind energy systems,” *Control Eng. Pract.*, vol. 111, no. March, p. 104803, 2021, doi: 10.1016/j.conengprac.2021.104803.
- [6] Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering 5th Edition*. New York: Prentice Hall.
- [7] Rosalina, I. Qosim, and M. Mujirudin, “Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID ( Proportional Integral Derivative ),” *Semin. Nas. TEKNOKA*, vol. 2, no. 2502–8782, pp. 89–94, 2017.
- [8] M. Pengaturan, K. Motor, and D. C. Dengan, “Modeling Pengaturan Kecepatan Motor Dc Dengan Simulink,” *Maj. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 25–29, 2012, doi: 10.24843/10.24843/MITE.
- [9] D. Sugiono, “Model Matematik Motor DC,” 2014.
- [10] I. Husnaini, “Sistem Kontrol Optimal Pada Kontrol Posisi Motor Dc,” no. March, 2019, doi: 10.31227/osf.io/8c3ts.