

e-ISSN :

p-ISSN :

# TEVA

Technology and Energy Innovation

A BOOK OF INERGCY SERIES



**EDISI I • JILID A**

Tahun 2022

**PUBLISHED BY :**  
DEPARTMENT OF MARINE ELECTRICAL ENGINEERING  
SHIPBUILDING INSTITUTE OF POLYTECHNIC SURABAYA

**BUNGA RAMPAI**  
**TEKNOLOGI ELEKTRONIKA DAYA DAN SISTEM**  
**KENDALI**

Edisi 1 — Jilid A (2022)

**Pengarah**

Anggara Trisna Nugraha

**Editor**

Tim Penyunting TEVA

**Penyusun**

Naufal Hariz • Mochammad Nawal Gibran • Salsabila Ika Yuniza • Anggara Trisna Nugraha •  
Muhammad Adimassyah • Muhammad Handy Wahyu Pradana • Muhammad Nadhif Oka  
Dikmantara • Muhammad Rizki Abdul Aziz • Naufal Rendra Saputra • Naura Aulia Barcka • Naura  
• Nur Wakhidatur Rochmawati • Oktavinna Dwi Pratiwi

*Penerbit TEVA — Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*

# **BUNGA RAMPAI TEKNOLOGI ELEKTRONIKA DAYA DAN SISTEM KENDALI**

Edisi 1, Jilid A (Tahun 2022)

Hak cipta © 2022 pada penulis.

Diterbitkan oleh TEVA (Technology and Energy Innovation), Himpunan Mahasiswa Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Alamat: Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur, Indonesia.

Karya tulis dalam buku ini merupakan hasil kegiatan ilmiah INERGYC (Lomba Karya Tulis Ilmiah) yang diselenggarakan oleh TEVA.

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan Pertama, 2022.

Ukuran: 21 × 29,7 cm (A4).

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya penyusunan buku bunga rampai ini. Buku ini menghimpun karya tulis ilmiah mahasiswa di bidang elektronika daya dan sistem kendali yang dikembangkan melalui kegiatan INERGYC.

Edisi 1 Jilid A tahun 2022 ini memuat 11 bab yang membahas beragam topik, mulai dari pengaturan tegangan AC, rangkaian penyearah (rectifier), hingga penerapan metode kendali optimal seperti LQR, LQT, dan PID pada motor listrik.

Kami menyampaikan terima kasih kepada Bapak Anggara Trisna Nugraha selaku pengarah, para penyunting, serta seluruh penulis yang telah berkontribusi. Semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa dan praktisi di bidang teknik kelistrikan.

Surabaya, 2022

Tim Penyusun

## **PRAKATA**

Perkembangan teknologi elektronika daya dan sistem kendali menuntut pemahaman yang kuat terhadap konsep dasar sekaligus kemampuannya menerapkannya pada permasalahan nyata. Bunga rampai ini disusun sebagai wadah bagi mahasiswa untuk menuangkan gagasan dan hasil kajian mereka.

Setiap bab ditulis oleh penulis yang berbeda dengan gaya dan pendekatan masing-masing, namun tetap berada dalam payung tema besar elektronika daya dan kendali sistem. Pembaca dapat menelusuri setiap bab secara mandiri sesuai kebutuhan.

Kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi penyempurnaan edisi-edisi berikutnya.

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	4
Prakata .....	5
Daftar Isi .....	6
Daftar Gambar .....	7
Daftar Tabel.....	10
Daftar Singkatan .....	11
<b>BAB I Perancangan dan Aplikasi Pengontrol Tegangan AC Satu Fasa .....</b>	<b>12</b>
<b>BAB II Pengaruh Beban pada Regulator Tegangan AC Satu Fasa.....</b>	<b>17</b>
<b>BAB III Rektifier Terkontrol Satu Fasa Gelombang Penuh untuk Mengatur Laju Motor AC.....</b>	<b>24</b>
<b>BAB IV Perbandingan Respon Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode PID dan LQR .....</b>	<b>32</b>
<b>BAB V Simulasi Kontrol LQR-PID pada Cold Storage Ikan Salmon .....</b>	<b>38</b>
<b>BAB VI Kajian Kinerja Motor DC 110BLF01 dengan Linear Quadratic Regulator (LQR) sebagai Kontroler.....</b>	<b>46</b>
<b>BAB VII Perbandingan Kinerja LQT dan LQR dalam Mengendalikan Sistem Mekanik dengan Aktuasi Terbatas.....</b>	<b>57</b>
<b>BAB VIII Optimalisasi Pengontrol Pengaplikasian LQR dan LQT .....</b>	<b>63</b>
<b>BAB IX Rektifier Terkendali 1 Fasa Gelombang Penuh.....</b>	<b>71</b>
<b>BAB X Perancangan dan Perbandingan Kontroler LQR-PID untuk Kendali Posisi Motor DC pada Alat Penjemur Biji Kopi .....</b>	<b>80</b>
<b>BAB XI Sistem Kendali Eddy Current Brake Dinamometer Menggunakan Linear Quadratic Regulator (LQR) .....</b>	<b>89</b>
Glosarium.....	102
Indeks .....	103
Biografi Penulis .....	105

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.....	12
Gambar 1.2.....	13
Gambar 1.3.....	13
Gambar 1.4.....	13
Gambar 1.5 Rangkaian Daya.....	13
Gambar 1.6.....	14
Gambar 1.7.....	14
Gambar 1.8.....	14
Gambar 1.9.....	14
Gambar 1.10 Hasil pengukuran pada sudut $90^\circ$ .....	14
Gambar 1.11 .....	14
Gambar 1.12.....	14
Gambar 1.13 Hasil pengukuran pada sudut $45^\circ$ .....	15
Gambar 1.14.....	15
Gambar 1.15.....	15
Gambar 1.16 Hasil pengukuran pada sudut $135^\circ$ .....	15
Gambar 2.1.....	19
Gambar 2.2 SCR Circuit .....	20
Gambar 2.3 Full-wave 1-Phase AC Voltage regulator circuit with SCR with Resistor load ...	21
Gambar 2.4 Full-wave 1 Phase AC Voltage regulator circuit with SCR with Resistor load ...	21
Gambar 2.5 Input Voltage Waveform .....	21
Gambar 2.6.....	21
Gambar 2.7 Load Input and Output Waveforms.....	21
Gambar 2.8.....	22
Gambar 3.1.....	26
Gambar 3.2 Physical form of TRIAC.....	26
Gambar 3.3.....	27
Gambar 3.4.....	29
Gambar 3.5.....	29
Gambar 3.6.....	29
Gambar 4.1.....	34
Gambar 4.2.....	34
Gambar 4.3 Diagram Blok Kontrol PID .....	34
Gambar 4.4.....	35
Gambar 4.5.....	36
Gambar 4.6.....	36
Gambar 4.7.....	36

Gambar 4.8.....	36
Gambar 4.9.....	36
Gambar 4.10.....	36
Gambar 5.1.....	42
Gambar 5.2.....	44
Gambar 5.3.....	44
Gambar 5.4.....	44
Gambar 6.1.....	47
Gambar 6.2.....	48
Gambar 6.3.....	48
Gambar 6.4.....	48
Gambar 6.5.....	49
Gambar 6.6 Sistem Input dan Output pada State-Space(.....	49
Gambar 6.7.....	50
Gambar 6.8.....	50
Gambar 6.9.....	51
Gambar 6.10.....	51
Gambar 6.11.....	51
Gambar 6.12.....	52
Gambar 6.13.....	52
Gambar 6.14.....	47
Gambar 6.15.....	53
Gambar 6.16.....	55
Gambar 6.17.....	55
Gambar 6.18 Grafik Hasil Code Script Orde 1.....	55
Gambar 8.1 LQR dan LQT Controller.....	64
Gambar 8.2.....	64
Gambar 8.3.....	64
Gambar 8.4.....	65
Gambar 8.5.....	65
Gambar 8.6.....	66
Gambar 8.7.....	66
Gambar 8.8.....	66
Gambar 8.9.....	66
Gambar 8.10.....	66
Gambar 8.11.....	66
Gambar 8.12.....	67
Gambar 8.13.....	67
Gambar 8.14.....	67

Gambar 8.15 .....	67
Gambar 8.16 .....	67
Gambar 8.17 .....	67
Gambar 8.18 Respon Variasi Nilai Q pada Pengendalian LQR Sudut Roll .....	68
Gambar 8.19 Respon Variasi Nilai Q pada Pengendalian LQR Sudut Pitch .....	69
Gambar 9.1 .....	75
Gambar 9.2 .....	75
Gambar 9.3 d. Bentuk Gelombang Input dan Output Beban R .....	75
Gambar 9.4 .....	76
Gambar 9.5 .....	76
Gambar 10.1 .....	82
Gambar 10.2 Diagram Blok PID pada Kendali Posisi Motor DC .....	82
Gambar 10.3 .....	82
Gambar 10.4 .....	82
Gambar 10.5 .....	82
Gambar 10.6 .....	83
Gambar 10.7 .....	83
Gambar 10.8 .....	84
Gambar 10.9 .....	85
Gambar 10.10 .....	85
Gambar 10.11 .....	85
Gambar 10.12 .....	85
Gambar 10.13 .....	86
Gambar 10.14 .....	86
Gambar 10.15 .....	86
Gambar 10.16 .....	86
Gambar 10.17 .....	86
Gambar 10.18 .....	87
Gambar 10.19 .....	87
Gambar 11.1 .....	91
Gambar 11.2 .....	93
Gambar 11.3 .....	93
Gambar 11.4 .....	93
Gambar 11.5 .....	93
Gambar 11.6 .....	94
Gambar 11.7 .....	94
Gambar 11.8 .....	94
Gambar 11.9 .....	94
Gambar 11.10 .....	94

Gambar 11.11 Hasil Pengujian Sistem Tanpa Pengendali (Open Loop) .....	95
Gambar 11.12 .....	97
Gambar 11.13 .....	97
Gambar 11.14 .....	98
Gambar 11.15 .....	98

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Result of Observations of Circuits with Load R .....	22
Tabel 6.1	.....	55
Tabel 6.2	.....	55
Tabel 6.3	.....	55
Tabel 8.1	.....	65
Tabel 8.2	Nilai Q dan R LQR Pengendalian Gerak Rotasi .....	67
Tabel 8.3	.....	68
Tabel 8.4	Karakteristik Respon Variasi Nilai Q pada LQR Pengendalian Sudut .....	68
Tabel 8.5	Karakteristik Respon Variasi Nilai Q pada LQR Pengendalian Sudut .....	68

## DAFTAR SINGKATAN

<b>AC</b>	Alternating Current (arus bolak-balik)
<b>DC</b>	Direct Current (arus searah)
<b>LQR</b>	Linear Quadratic Regulator
<b>LQT</b>	Linear Quadratic Tracking
<b>PID</b>	Proportional Integral Derivative
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation
<b>THD</b>	Total Harmonic Distortion
<b>SCR</b>	Silicon Controlled Rectifier
<b>RMS</b>	Root Mean Square
<b>RPM</b>	Rotation Per Minute
<b>SISO</b>	Single Input Single Output
<b>PSIM</b>	Power Simulation (perangkat lunak simulasi elektronika daya)
<b>MATLAB</b>	Matrix Laboratory
<b>PPNS</b>	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
<b>TEVA</b>	Technology and Energy Innovation
<b>INERGYC</b>	Kompetisi Karya Tulis Ilmiah yang diselenggarakan TEVA
<b>LKTI</b>	Lomba Karya Tulis Ilmiah

# BAB I

## Perancangan dan Aplikasi Pengontrol Tegangan AC Satu Fasa

Oleh: Naufal Hariz

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

### Abstrak

*This single-phase AC voltage regulator is equipped with an SCR TIC126, diode, IC regulator, op amp LM324N, and several other electronic components. This module can generate an AC voltage that changes depending on the trigger of the SCR angle used, and the frequency of the output voltage waveform is fixed. The analysis of the output voltage waveform in this study is performed in a simulated format using the PSIM program mathematically. Compared to the measurement result, the measured parameter is because the  $V_{rms}$  output is current voltage. The voltage difference between simulation, math, and measurement is up to the trigger angle used at  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  with low resistance AC voltage between the load used at  $5W$   $100\Omega$  and the source used. Is not so big. 12.8 volts at a frequency of 50Hz.*

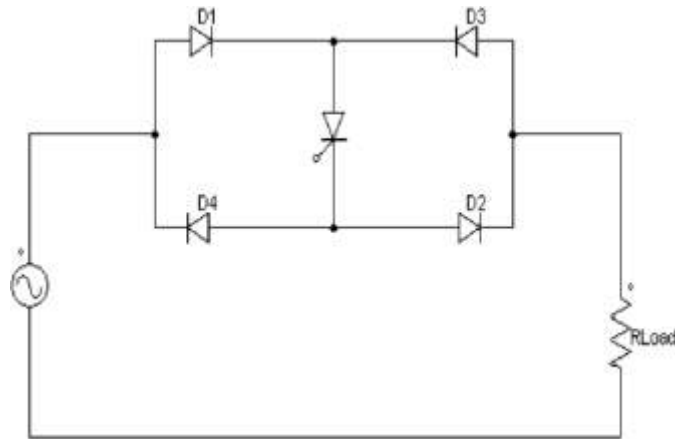
**Kata Kunci:** AC Voltage controller, PSIM, SCR, and Op-Amp LM324N

1. Introduction Power electronics is a field of science that studies and discusses electronic applications related to high-power electrical equipment such as industrial heaters, AC motor speed regulators and others [1][2]. One of the materials studied in power electronics is an AC to AC converter, in this study the author designed a prototype AC to AC converter with a fixed frequency concept but the output voltage varies, by utilizing the SCR component, the trigger angle can be controlled so that the output  $V_{rms}$  voltage value can be adjusted according to need, where this system uses a resistive load. 2.

### 2. GUIDELINES FOR MANUSCRIPT PREPARATION

AC to AC power electronic converters usually operate to receive power in the form of alternating current with a fixed frequency and amplitude, which is then converted for transmission to systems requiring AC voltage. Different amplitude and frequency. An AC-AC converter that can produce a variable rms voltage at a fixed frequency load is known as an ac voltage controller [1][2][3]. Figure 1 shows the basic concept of an AC voltage control circuit.

Gambar. 1 Konsep Dasar pengontrol tegangan AC[1][2]. In general, the working system of Figure 1 can be seen in Table 1, this system works in two cycles, namely a positive cycle (+) and a negative cycle (-), where the components that work in the positive cycle are D1, D2, and SCR, while the components that work in the positive cycle are D1, D2, and SCR. on the negative cycle are D2, D3, and SCR[1][2][3].



Gambar 1.1

Tabel 1 Tabel Konduksi

When the SCR is triggered at an angle it will produce a voltage wave output ( $V_o$ ) on the positive cycle side, while on the negative cycle side it is triggered at an angle  $\pi + \alpha$  as shown in Figure 2 [2], where the load used in this study is resistive. .

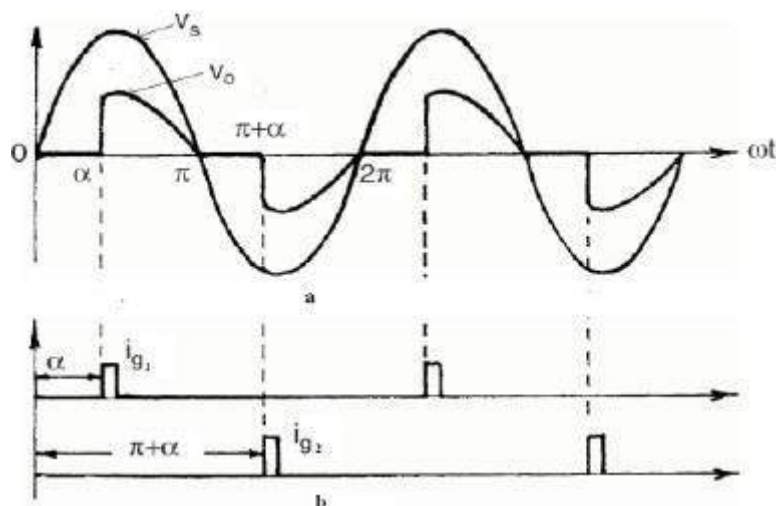
Gambar 2 (a) Gelombang tegangan input ( $V_s$ ) dan output ( $V_o$ ), (b) Gelombang pentrigeran SCR [2] RMS voltage or effective stress is a voltage that shows the average value of the square root of a periodic stress wave, mathematically it can be written by equation (1) below [2][3]:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\pi+\alpha} v(t)^2 \cdot dt + \frac{1}{T} \int_{\pi}^{2\pi} v(t)^2 \cdot dt}$$

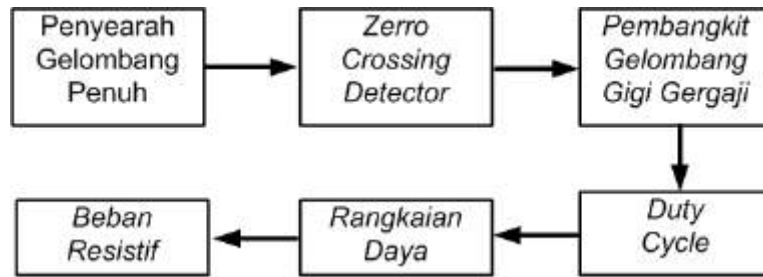
Dimana :  $V_{rms}$  = Tegangan RMS (Volt) T = Periode dari gelombang output (s)  $v(t)$  = persamaan gelombang output terhadap fungsi waktu

The single-phase AC voltage control circuit design in this study was built following the block diagram as shown in Figure 3 below .

Gambar 3 Blok Diagram Sistem



Gambar 1.2



Gambar 1.3

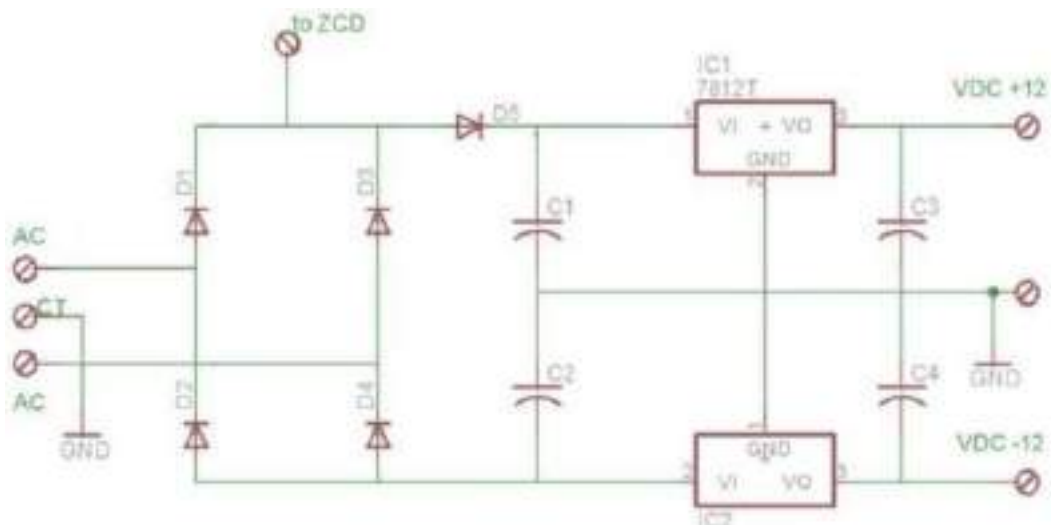
2.1. Power Supply Circuit The full wave rectifier functions to convert the AC voltage signal (Alternating Current) into DC voltage (Direct Current) which serves to provide a voltage source to all components in the control circuit, where the rectifier circuit is composed using capacitor diode components and regulator ICs LM7812 and LM7912, to produces +12 V and -12V DC voltages, the output of this full wave rectifier is also used as input for the Zero Crossing Detector (ZCD) circuit as shown in picture 4.

Gambar 4 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh

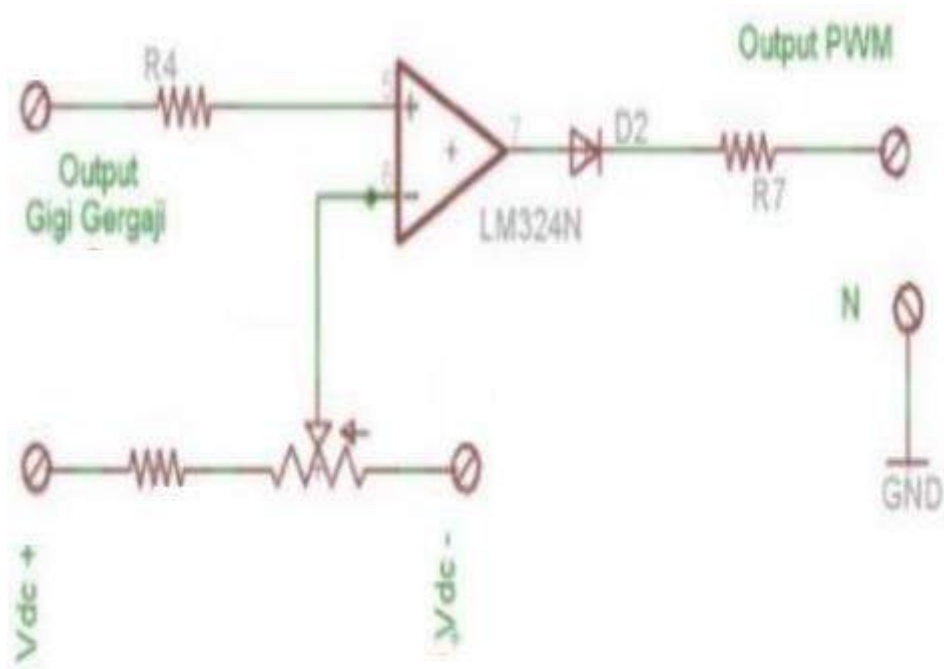
2.1.1. Duty Cycle Circuit This duty cycle circuit uses several electronic components such as resistors, IC Op-Amp LM 324N, and diodes, as well as a potentiometer that functions to adjust the width of the PWM pulse which is used as the trigger angle for the SCR as shown in picture 5.

Gambar 5 Rangkaian Duty Cycle

2.1.2. Power Circuit The AC voltage regulator power circuit consists of several electronic components, namely four diodes, and uses one SCR TIC126, while for the load it uses a 5W/100 resistor as shown in picture 6.



Gambar 1.4



Gambar 1.5 Rangkaian Daya

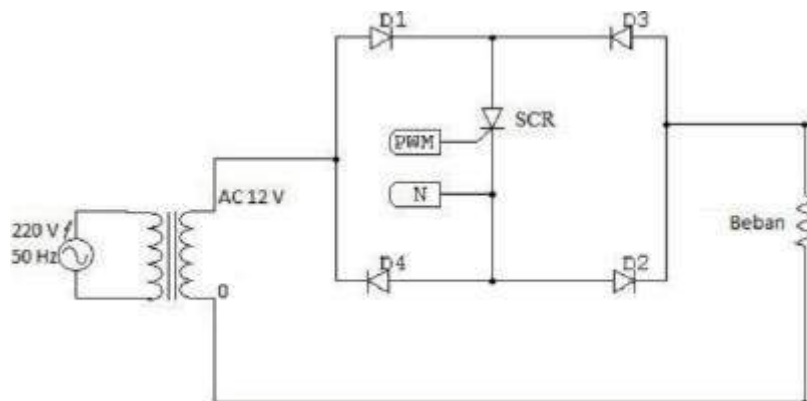
### 3. METHOD

1. Power Supply Circuit Test The waveform after passing through the bridge diode can be seen in Figure 7, this wave is then used as input for the ZCD circuit, to produce an output voltage of DC + 12V and – 12V then this wave is connected to the filter capacitor and regulator IC LM7812 and LM7912.

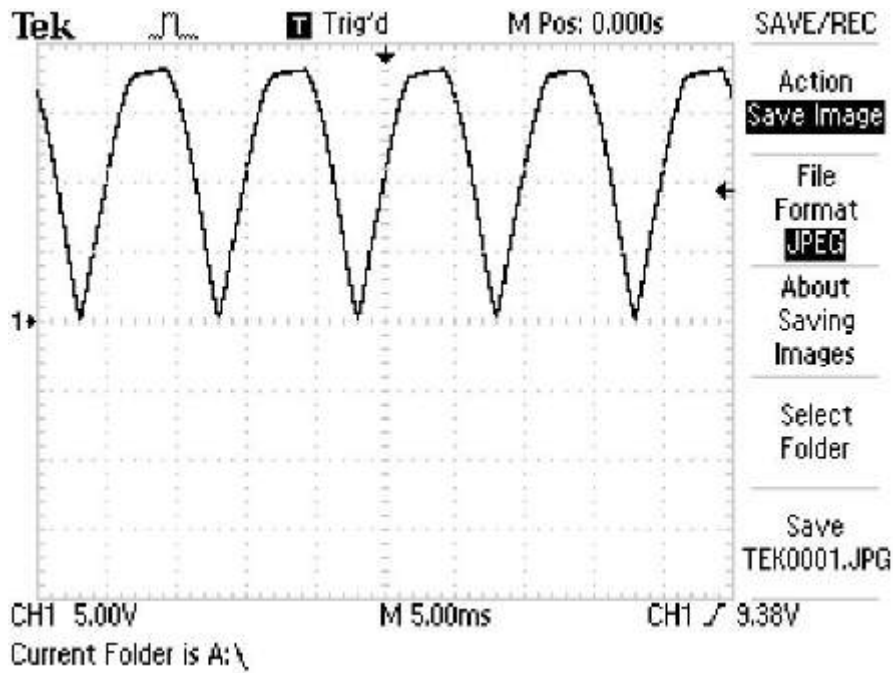
Gambar 7 Output penyearah gelombang penuh

2. Duty Circle Circuit Test The measurement results in the duty cycle circuit can be seen in Figure 8, where the duty cycle pulse width will change according to the comparison of the sawtooth wave with the voltage from the change in the value of the potential resistance.

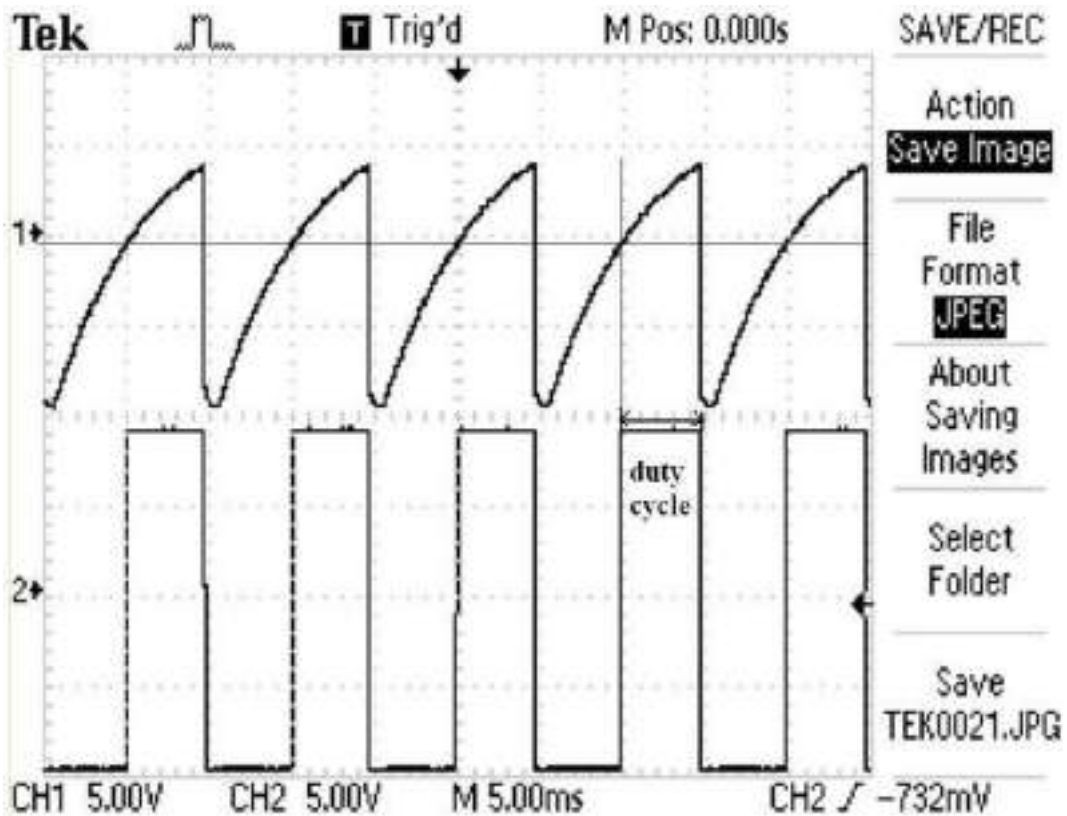
Gambar 8 Output pada rangkaian duty cycle



Gambar 1.6



Gambar 1.7



Gambar 1.8

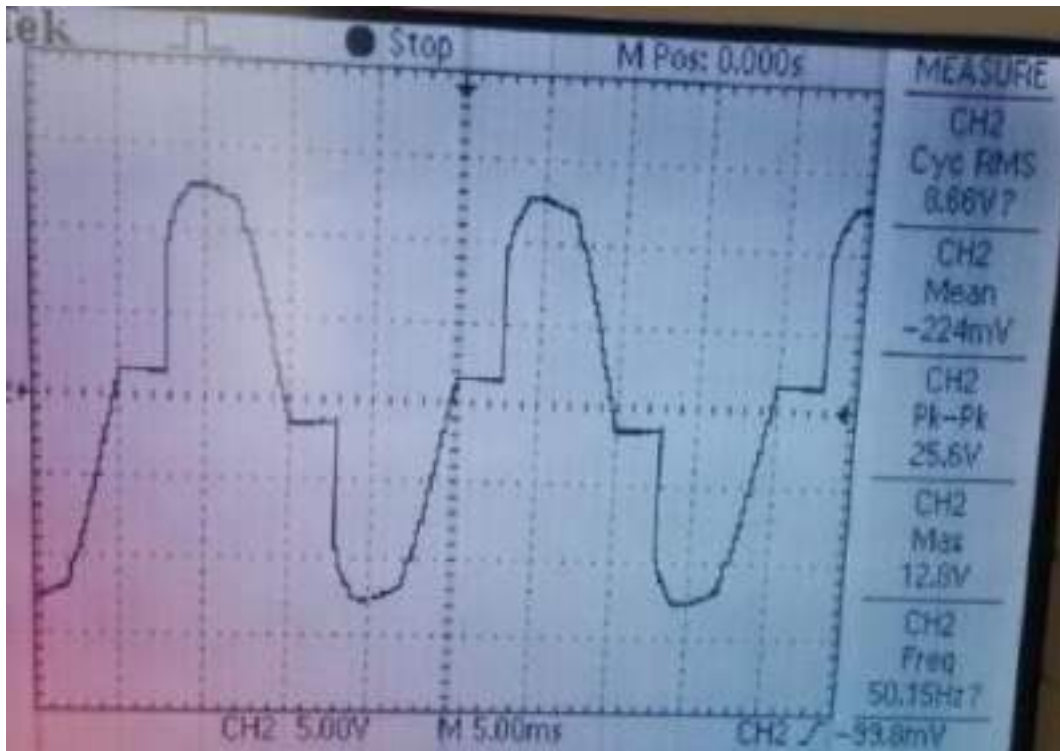
### 3. Power Circuit Test

Testing on the power circuit aims to see the performance of the AC voltage controller circuit, while the angles observed are  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ , and  $135^\circ$ . The maximum voltage from

the AC source to be set is 12.8 Volts. The measurement results can be seen in Figure 9 to Figure 12 below.

Gambar 9 Hasil pengukuran pada sudut  $45^\circ$

Gambar 10 Hasil pengukuran pada sudut  $60^\circ$



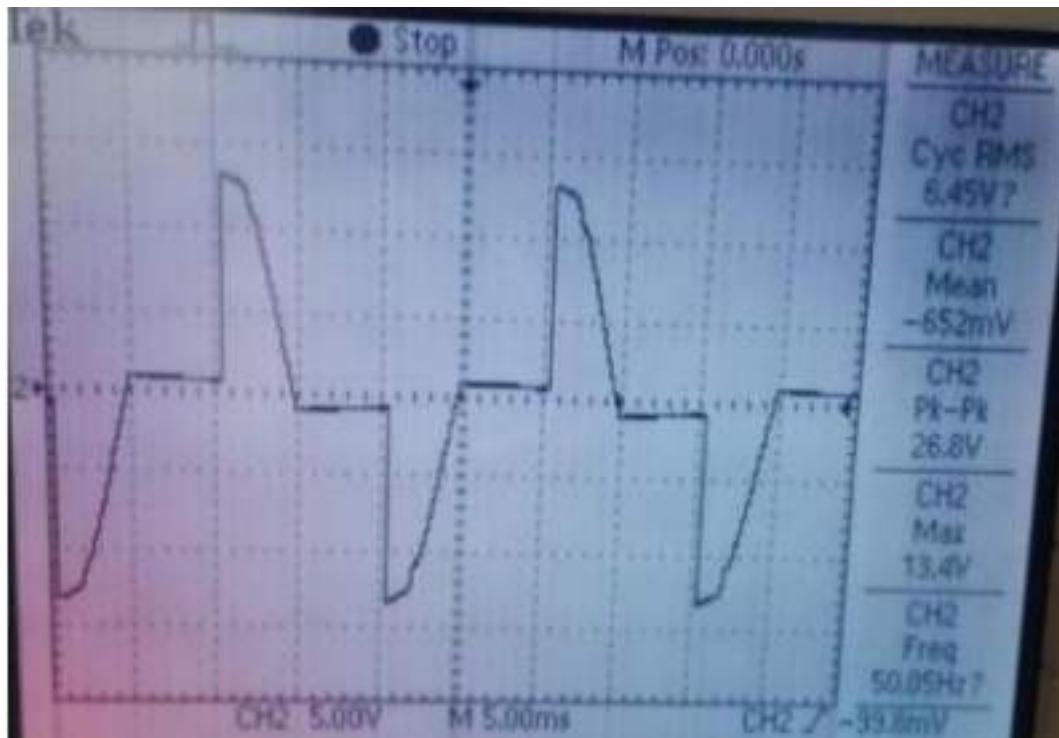
Gambar 1.9



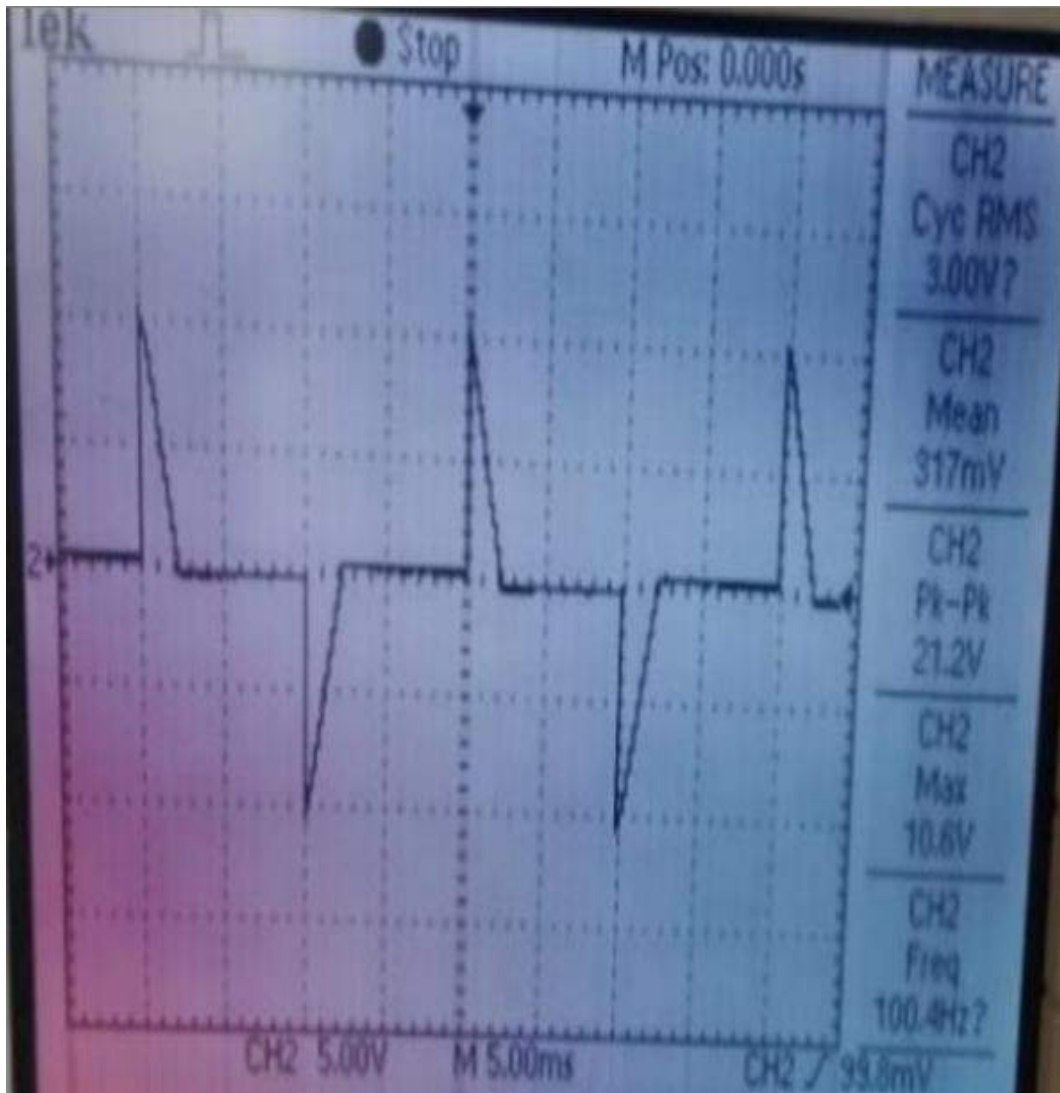
Gambar 1.10 Hasil pengukuran pada sudut  $90^\circ$

Gambar 12 Hasil pengukuran pada sudut  $135^\circ$

SYSTEMATIC ANALYSIS Mathematical analysis was carried out at  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ , and  $135^\circ$  angles using equation (1), where the maximum voltage of the AC source used was 12.8 Volts.



Gambar 1.11



*Gambar 1.12*

VRMS untuk Sudut 45°

SIMULATION ANALYSIS Simulation analysis is carried out using the PSIM program, while the output waveform can be seen in picture 13 to 16 below.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[ \int_{45^\circ}^{180^\circ} (12,8 \sin t)^2 dt + \int_{225^\circ}^{360^\circ} (12,8 \sin t)^2 dt \right]}$$

$$V_{rms} = 8,63 \text{ Volt}$$

### **Vrms untuk Sudut 60°**

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[ \int_{60^\circ}^{180^\circ} (12,8 \sin t)^2 dt + \int_{240^\circ}^{360^\circ} (12,8 \sin t)^2 dt \right]}$$

$$V_{rms} = 8,12 \text{ Volt}$$

### **Vrms untuk Sudut 90°**

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[ \int_{90^\circ}^{180^\circ} (12,8 \sin t)^2 dt + \int_{270^\circ}^{360^\circ} (12,8 \sin t)^2 dt \right]}$$

$$V_{rms} = 6,4 \text{ Volt}$$

### **Vrms untuk Sudut 135°**

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}$$

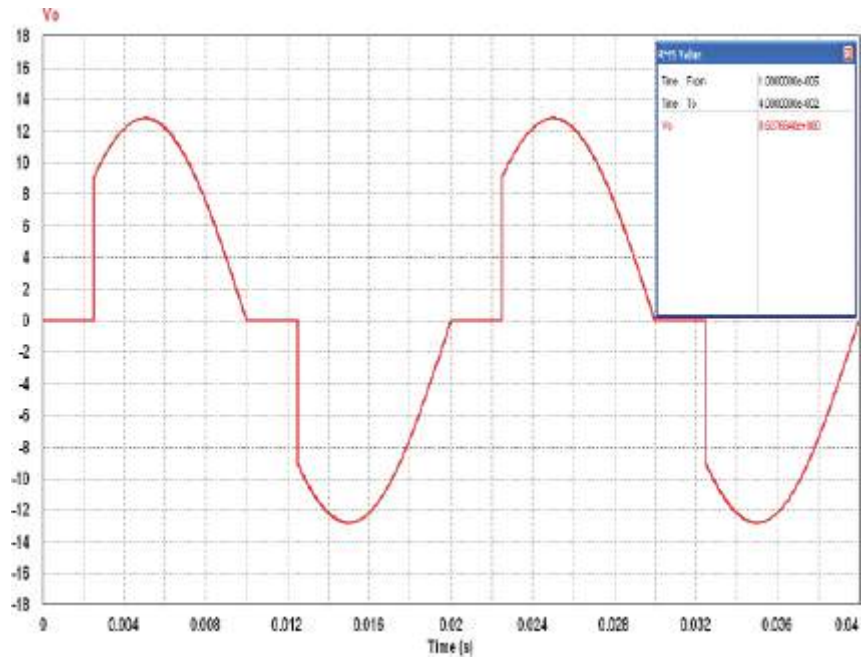
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[ \int_{135^\circ}^{180^\circ} (12,8 \sin t)^2 dt + \int_{315^\circ}^{360^\circ} (12,8 \sin t)^2 dt \right]}$$

$$V_{rms} = 2,726 \text{ Volt}$$

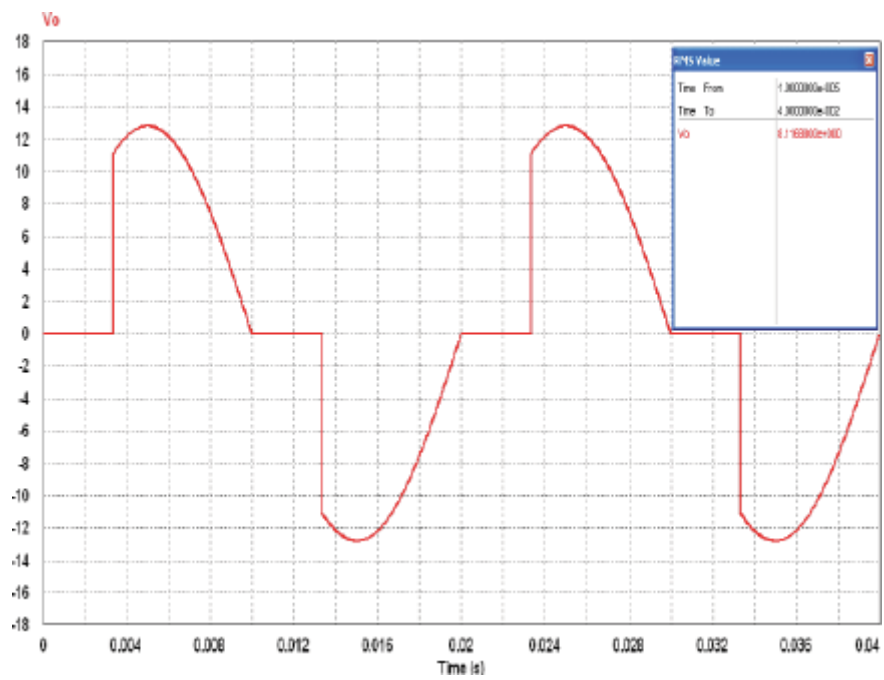
*Gambar 1.13 Hasil pengukuran pada sudut 45°*

Gambar 14 Hasil pengukuran pada sudut 60°

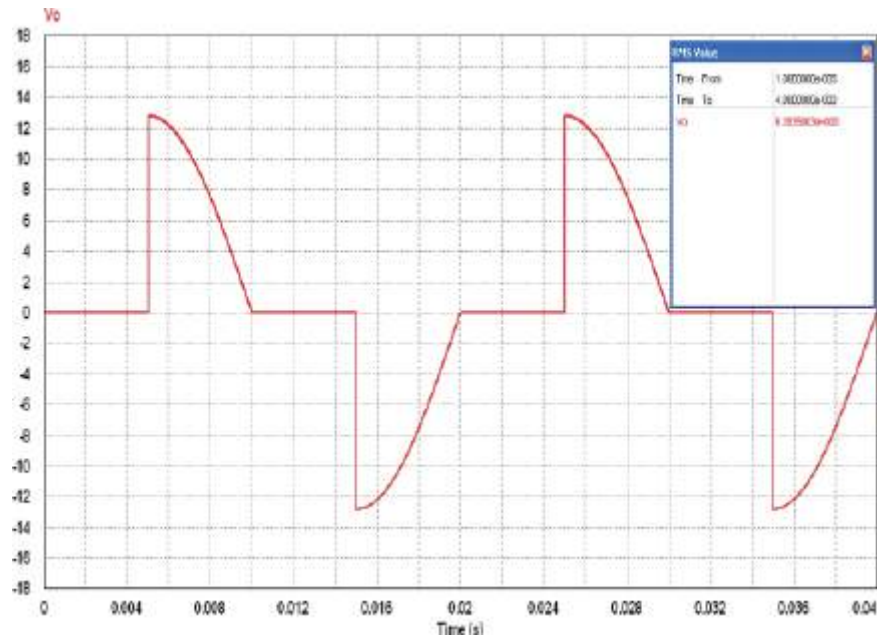
Gambar 15 Hasil pengukuran pada sudut 90°



Gambar 1.14



Gambar 1.15



Gambar 1.16 Hasil pengukuran pada sudut  $135^\circ$

4. RESULTS AND DISCUSSION The comparison of the  $V_{rms}$  output voltage of this controlled AC waveform both measurement, simulation, and mathematical can be seen in Table 2 where the measurement, simulation, and mathematical results do not have too much difference, while the  $135^\circ$  angle has a difference of 0.28 Volts. this is influenced by the inaccuracy factor in the observation or reading of the AC wave angle on the oscilloscope.

Table 1. Perbandingan Tegangan  $V_{rms}$

5. CONCLUSION This single-phase ac voltage control circuit can produce a fixed frequency ac waveform while the obtained rms voltage varies depending on the desired angle, the value between measurement and simulation is not much different.

## Daftar Pustaka

- [1] Dermawan, D, Basyari, HA, Fathurrohman, MF and Nugraha, AT. "Kendali Kecepatan Motor Dengan Kontrol Pid Menggunakan Metode Metaheuristik." Seminar MASTER PPNS 8.1, 2023, pp. 236-243.
- [2] Ashlah, MB, Sobhita, RA and Nugraha, AT. "Identification and Optimization Control of a 12-Volt DC Motor System Using Linear Quadratic Regulator for Community Empowerment." Maritime in Community Service and Empowerment 3.1, 2025
- [3] Nugraha, AT, Sutrisna, VHK and Shiddiq, MJ. "Comparison Of LQR And PID Control Approaches In Enhancing Stability Of DC Motor Systems." Journal of Electrical, Marine and Its Application 1.2, 2023, pp. 1-6.
- [4] Safitri, LN. "PROTOTYPE PTO (POWER TAKE-OFF) GENERATOR DENGAN MENGATUR KECEPATAN MOTOR 3 PHASE UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LISTRIK DI KAPAL." Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 2021
- [5] Intyanto, GW, Trihatmojo, AA, Yuniarti, DAF and Nugraha, AT. "ELDOC-Design of Electric Dolly Camera for Video Recording Using the Omni-Direction Wheel." Walisongo Journal of Information Technology 5.1, 2023, pp. 41-52.

- [6] Nugraha, AT and Arifuddin, R. "Gas Pressure Measurement On Rocket Chamber Based On Strain Gauge Sensor." *JEEMECs (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science ...*, 2020
- [7] Rahman, MA, Poetro, JE and Nugraha, AT. "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Proteksi Motor 1 Phasa terhadap Gangguan Over Voltage dan Under Voltage." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 11.2, 2021, pp. 59-66.
- [8] Syahdana, OP, in, MS and Nugraha, AT. "RANCANG BANGUN AUTOFEEDER DENGAN SISTEM NAVIGASI WAYPOINT DAN KENDALI KESTABILAN POSISI MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 2.1, 2022, pp. 261-269.
- [9] Fauzi, AR, Nugraha, AT and Jami'in, MA. "Permodelan Matematis Orde Satu dan Orde Dua Motor DC Maxon RE 50 Berdasarkan Step Response." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 4.1, 2025
- [10] Angga, ATN, Shiddiq, MJ and Ramadhan, MF. "Use ordinary expressions to learn how to extract code feedback from the software program upkeep process." *International Journal of Advances in Data and Information Systems* 2.2, 2021, pp. 105-113.
- [11] Rohman, YF, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Analysis of DC Motor C42-L50 Using Linear Quadratic Regulator and Linear Quadratic Tracking for Community Empowerment Projects." *Maritime in Community Service and Empowerment* 3.1, 2025
- [12] Nugraha, AT. "Desain Kontrol Path Following Quadcopter Dengan Algoritma Line of Sight." *Prosiding SENIATI, B9.*, 2017, pp. 1-8.
- [13] Nugraha, AT. "DISTURBANCE REJECTION BERBASIS LOS SAAT TRACKING PADA JALUR LINGKARAN MENGGUNAKAN QUADCOPTER." *Prosiding SENIATI* 4.1, 2018, pp. 50-56.
- [14] Hati, IJP, Nugraha, AT and Jami'in, MA. "Pemodelan dan Simulasi Dinamik Motor DC Brushless BN23HS-28HS-02 dan Motor AC Satu Fasa SIMTACH AC040M-08J30A Berbasis MATLAB/Simulink." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 4.1, 2025
- [15] Dermawan, D, Yuniza, SI, Septiandi, IN and Nugraha, AT. "Penyearah Setengah Gelombang 3 Fasa Tak Terkendali dari Generator AC 3 Fasa." *Seminar MASTER PPNS* 8.1, 2023, pp. 244-251.
- [16] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Hazim, A, Ashlah, MB, Fathurrohman, MF and .... "ANALISA SEPIC KONVERTER SEBAGAI PENGENDALI KECEPATAN MOTOR DC DI INDUSTRY." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 3.1, 2023, pp. 86-95.
- [17] Nugraha, AT, Widiarti, Y, Rachman, I, Riantini, R, Pambudi, DSA and .... "Instalasi Listrik Kapal." *ID Patent EC002,023,136,868*, 2023
- [18] Apriani, M, Nugraha, AT, Cahyono, L and Utomo, AP. "Eco Friendly Artificial Coral Reefs Melalui Recovery Limbah Cangkang Kerang Di Pantai Mutiara Desa Wisata." *ID Patent EC00,202,300,075*, 2023
- [19] Apriani, M, Nugraha, AT, Cahyono, L, Utomo, AP and Firnandi, R. "Coastal Community Empowerment: Recovery Of Cockle Shell Waste Into Eco-friendly Artificial Reefs In Mutiara Beach Trenggalek Indonesia." *ID Patent EC00,202,300,070*, 2023
- [20] Nugraha, AT, Pambudi, DSA, Utomo, AP, Priyambodo, D, Hari, MD and .... "Rancang Bangun Battery Charger Pada Pembangkit Listrik Portabel Energi Terbarukan Berbasis Arduino Uno R3." *ID Patent EC002,022,104,299*, 2022

## BAB II

### Pengaruh Beban pada Regulator Tegangan AC Satu Fasa

Oleh: Mochammad Nawal Gibran, Salsabila Ika Yuniza, Anggara Trisna Nugraha

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

*Kata Kunci:* AC Voltage controller, PSIM, wave, SCR

*AC Voltage Regulator is used to control the output rms voltage ( $V_{rms}$  output). The application of the AC voltage regulator is to control motor speed and so on. Setting the rms voltage value is done by adjusting the angle of ignition of the power switch which will delay the output voltage waveform, so that this AC voltage regulator is also called phase delay control. This study is to describe the current and voltage waveforms of a full-wave single-phase AC regulator at various load variations using SCR.*

#### A. Introduction

The development of the industry today is very rapidly accompanied by the development of increasingly cutting-edge technological shocks, including in the circles in the field of electricity industry. The Triode of Alternating Current is an electronic component widely used in AC power control applications. The TRIAC switch is a high voltage and well above the current level on the ground, and in both parts of the AC waveform [4].

Alternating current (AC) voltage control is widely used in household appliances and in industry as an example: control on learning lamps whose light can be adjusted, water heating regulation systems in industry etc. The application of controlled AC voltage that will convert a constant AC voltage into a variable AC voltage [1]. This ac to AC control regulator or control requires a TRIAC type power electronics component or can be formed from two thyristors connected anti- parallel. By adjusting the phase angle of the trigger voltage, it can adjust the conduction angle of the TRIAC or thyristor [2]. The AC output voltage depends on the narrow width of the phase angle of the trigger voltage and will go off by itself if the input voltage reaches a voltage of 0 Volts. The input voltage will reach 0 Volts if the phase voltage is equal to its neutral voltage or called line commutation, or when the trigger angle voltage reaches an angle of  $180^\circ$ .

Rectifier is one of the power converter applications that functions to adjust the ac voltage (alternating current) to the dc voltage (direct current). Rectifiers are widely used in everyday life especially for electronic equipment that uses direct current sources.

Based on the 2 characteristics of the circuit, the rectifier consists of a half-wave rectifier, a full-wave rectifier, and a full-wave bridge rectifier. In addition, rectifiers can be grouped according to the ability to control their voltage [3]. In this case, it is known rectifiers that use diode components and rectifiers that use controlled power switch components. The use of rectifiers which are non-linear loads can reduce the quality of electrical power, which results in harmonics.

Harmonics in electricity are the fault of electrical distribution or distortion in an electrical installation. Ideally, voltage and current waveforms that do not contain harmonics are waves that have only one base frequency. (frequency 0 Hz for DC voltage and current, and frequency 50/60 Hz for AC voltage and current) However, due to the use of non-linear loads, the waveforms of voltage and electric current become unequal. The parameter of harmonic magnitude is often expressed with THD (Total Harmonic Distortion) [11].

The more use of electronic equipment (non-linear loads) such as computers, tv and so on, it causes the electric current to contain harmonics. the negative impact of the existence of harmonics is to cause losses in the tool that generates heat [8]. Some literature mentioned that in the presence of harmonics in the network, a large neutral current will arise. This has bad and harmful consequences. The harmonic effect on the load side (for electricity users) is that electrical equipment becomes damaged and heats up quickly even though it has not been used at its maximum performance. One way to reduce or eliminate harmonics is to use passive filters, (R, L,C ) [7].

## **B. Literature Riview**

### *A. Rectifier*

Alignment is the process of converting alternating current or voltage into direct current or voltage. According to Moorthy (2005), Lander (1993) and Sigh and Kanchanadhani (2007), rectifiers can be classified into three categories, namely uncontrolled, half-controlled and fully controlled. In a controlled rectifier, the unidirectional voltage obtained is a function of the supply voltage or its source voltage and the location point in the wave period when the thyristor or SCR is triggered (called the trigger angle  $\alpha$ ). A rectifier is a circuit composed by one or more diodes, that is, this rectifier is a process of change that produces a DC output voltage by containing harmonics that still have to be removed, and at the same time current and voltage can be determined as output or input at a load [19]. To find out the performance of the rectifier can be determined by several parameters, namely:

$$\text{Power: } P_{dc} = V_{dc} \cdot I_{dc} \quad (1)$$

$$P_{ac} = V_{ac} \cdot I_{ac} \quad (2)$$

$$\frac{P_{dc}}{P_{ac}} \quad \text{efficiency:} \quad \eta = \quad (3)$$

$$\frac{I_T}{I_0} \frac{V_t}{V_{at}} \quad \text{Voltage:} \quad V_{dc} = \quad (4)$$

$$\frac{I_T}{I_0} \frac{V_{2t}}{V_{dt}} \quad V_{ac} = \quad (5)$$

Ripple Factor :

$$\frac{V_{rms}}{V_{dc}} \quad \text{FF} = \quad (6)$$

### B. Thyristor

Thyristor is a semiconductor material used as a switch with a working principle almost the same as a diode, but equipped with a gate that functions to adjust the ignition angle as needed, so that the output voltage can be varied [9]. The output voltage can be applied to the dimmer circuit, where the circuit is a circuit that functions as a lamp dimness controller. The type of thyristor used is a back to back thyristor whose main function is as a regulator. In this thyristor circuit, a zero crossing detector circuit is used which functions as a crossroads point detector at a zero value which later this point becomes a reference to generate a trigger signal. The trigger signal is the output signal of the control circuit used as the trigger for the ignition angle of the thyristor [10]. Based on the results of the study, the output voltage value generated by the back to back circuit of the thyristor can be controlled by setting the ignition angle on the thyristor from 00-1800. The value is inversely proportional to the voltage value, which is 220 volts to 0 volts. From the calculation results, it can be concluded that the greater the value of the ignition angle, the lower the voltage value, and vice versa.

Thyristor describes the power electronics components of power semiconductor devices intended for converter circuits, control rectifiers, and AC/DC voltage regulators that can be applied to industry. Such as to control electric motors (AC motor drives, DC motor drives), heaters, power, and so on [5].

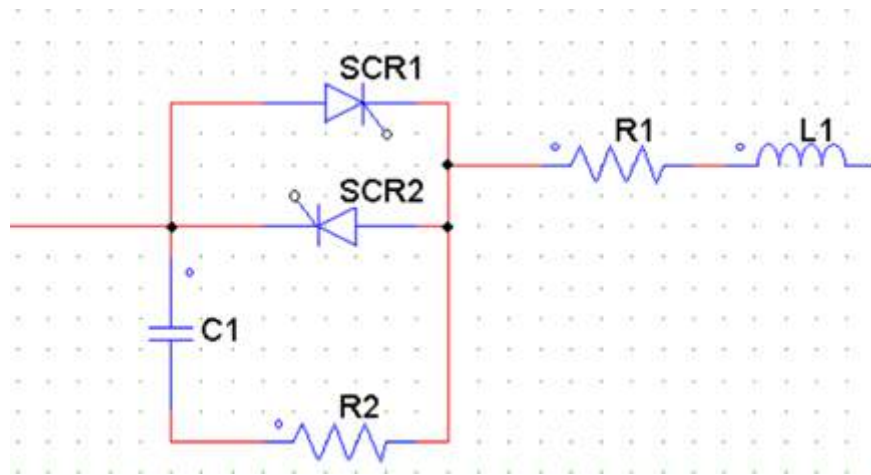
The development of power electronics technology, especially with the invention of the thyristor, the application of converters and inverters symbolizes a cutting-edge breakdown of electrical controllers, such as in AC / DC voltage regulators, as well as motors speed control / drive that is easy, flexible, practical, and economical [20]. The most effective way

to stabilize the mains voltage, is to use a thyristor component that utilizes the cutting properties of the sine wave so as to provide a constant output voltage automatically, free from the influence of variations in its input voltage [6].

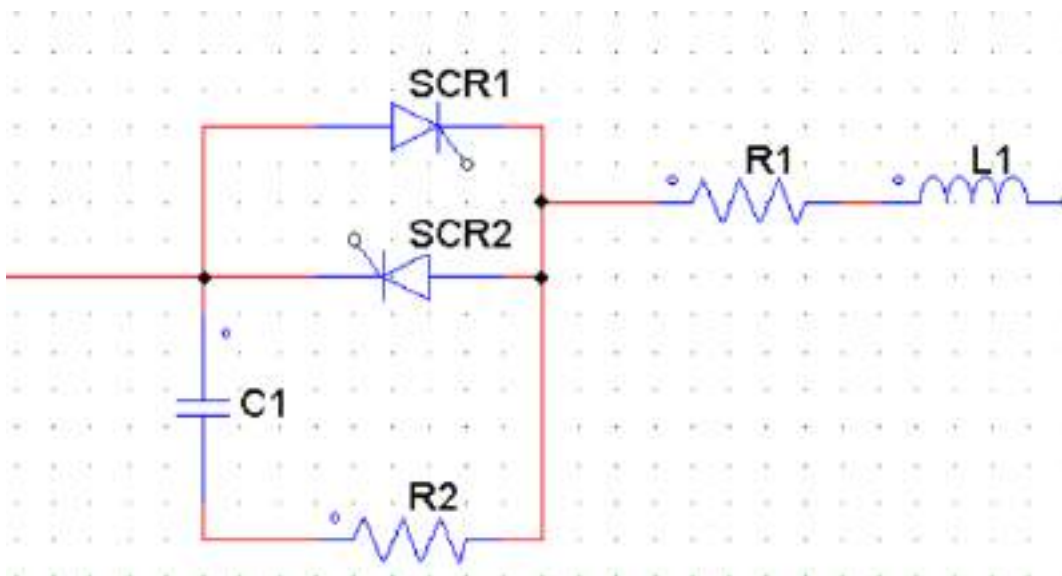
### C. Voltage Regulator

Easy and effective control of AC voltage is very necessary, considering the need for voltage that can be regulated is increasingly widespread, especially in equipment supplied by varying voltages, either using AC voltage or using DC voltage [18].

Voltage control can basically be done by adjusting the magnitude of the source signal, so that the output can change according to the desired. In principle this arrangement can be done using the SCR.



Gambar 2.1



Gambar 2.2 SCR Circuit

In principle, voltage control is an on/off condition in the SCR, so that the output voltage produced can vary. If the length of the SCR condition is on (n) and the length of the extinguished condition (m), then the output voltage can be determined the variation.

$$V_{out} = \frac{n}{n+m} \cdot V_s \quad (7)$$

$V_{out} =$

#### D. SCR

Silicon Controlled Rectifier or often abbreviated as SCR is a diode that has a function as a controller [12]. Unlike diodes in general which only have 2 terminal legs, SCR is a diode that has 3 terminal legs. The 3rd Terminal leg on the SCR is named the Terminal "Gate" or "Gate" which functions as a controller (Control), while the other leg is the same as the Diode in general, namely the "Anode" Terminal and the "Cathode" Terminal [13]. Silicon Controlled Rectifier (SCR) is one of the members of the Thyristor component group.

Silicon Control Rectifier (SCR) is a type of thyristor whose working principle is similar to that of a diode but is equipped with a gate to regulate the magnitude of the phase passed. SCR is a semiconductor component formed with a four-layer structure of PNPN (Positive-Negative-Positive-Negative) with three layers of PN connection. SCR has three terminals namely anode, cathode and gate [14]. The consecutive PN (PN junction) connections of the anode are given the symbols J1, J2 and J3. In its use, it must know the ways of operation of the SCR, namely by the method of making the SCR in a lit or triggering condition and the method of making the SCR in a non-conducting or commuting condition [15]. The method used in SCR is triggering through the gate (giving gate current) which is done by applying only a small voltage to the cathode gate (depending on product specifications), then the gate current can flow and make the SCR condition on. The working area of the SCR is  $0^\circ$ - $180^\circ$  (general property of the diode), then only in that area can phase control be carried out. If the SCR has been triggered, the SCR is in a state of conducting electric current. For phase regulation or stopping electric current, a commutation method is needed, namely trying to make the voltage on the SCR zero, so that the current does not flow. At that time it can be ascertained that the SCR is in a state of being unable to conduct electric current from the anode to the cathode until the trigger is reinserted [16].

In principle, the SCR works the same as a normal diode, but the SCR requires a positive voltage at the foot of the "Gate" to be able to activate it. When the Gate foot is given a positive voltage as a trigger, the SCR will conduct electric current from the Anode (A) to the Cathode (K). Once the SCR reaches the "ON" state, it will forever be ON even though

the positive voltage that serves as the trigger is released [17]. To make the SCR an "OFF" state, the Anode-Cathode forward current must be lowered until it is at the  $I_h$  (Holding Current) point of the SCR. The magnitude of the holding current or  $I_h$  of an SCR can be seen from the SCR datasheet itself. Because each type of SCR has a different Holding current. However, basically to return the SCR to the "OFF" state, we only need to lower the forward voltage of the Anode-Cathode to zero point.

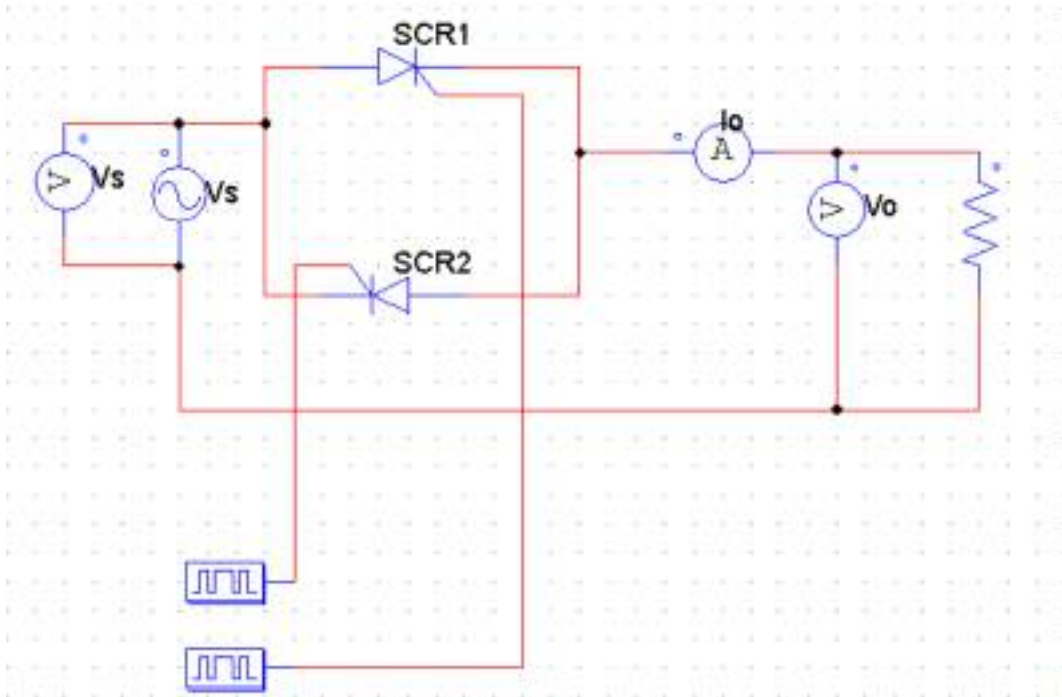
### **C. Method**

In this study, it uses a method with step design and simulation of the SCR single-phase AC voltage regulator circuit on various load variations, circuit making, experimental circuit testing, data retrieval, and data analysis. The design and simulation of a fully controlled one-phase AC voltage regulatory circuit using SCR is carried out by simulating the system as a whole using PSIM® software to determine the performance of the circuit that has been designed. The 1 phase AC regulator can be operated in 3 modes, namely:

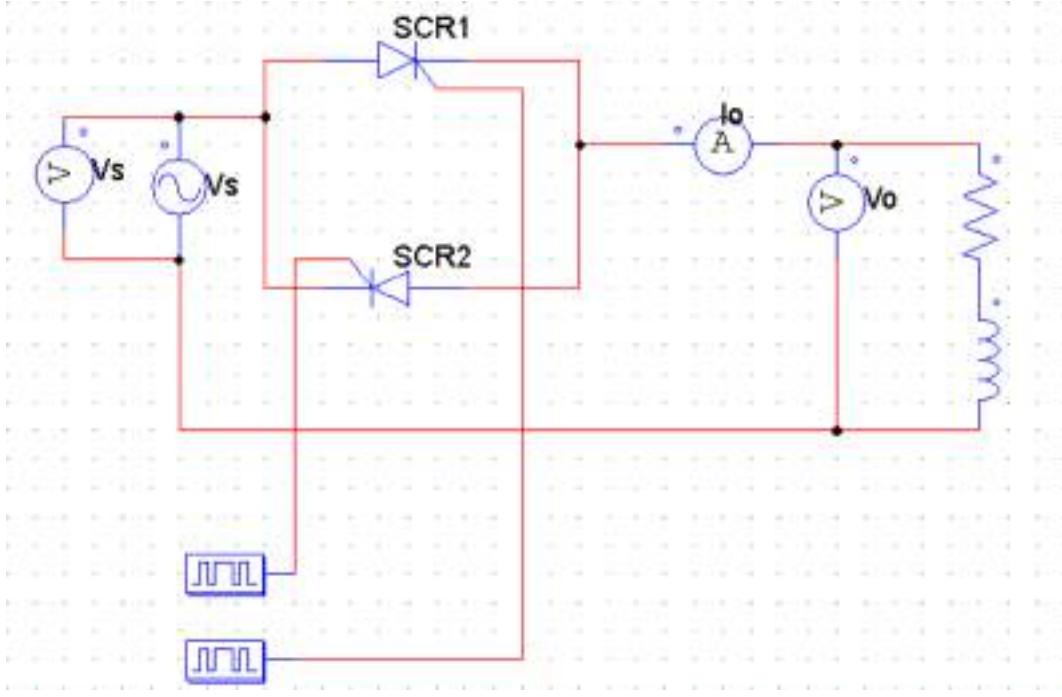
- a. Large ignition angle of the phase angle ( $\alpha > \phi$ ). In this mode the output current is not continuous.
- b. Small ignition angle of the phase angle ( $\alpha < \phi$ ). In this mode one SCR will fail to turn on.
- c. The ignition angle is equal to the phase angle ( $\alpha = \phi$ ). In this mode the output current will be continuous.

### **D. Discussion**

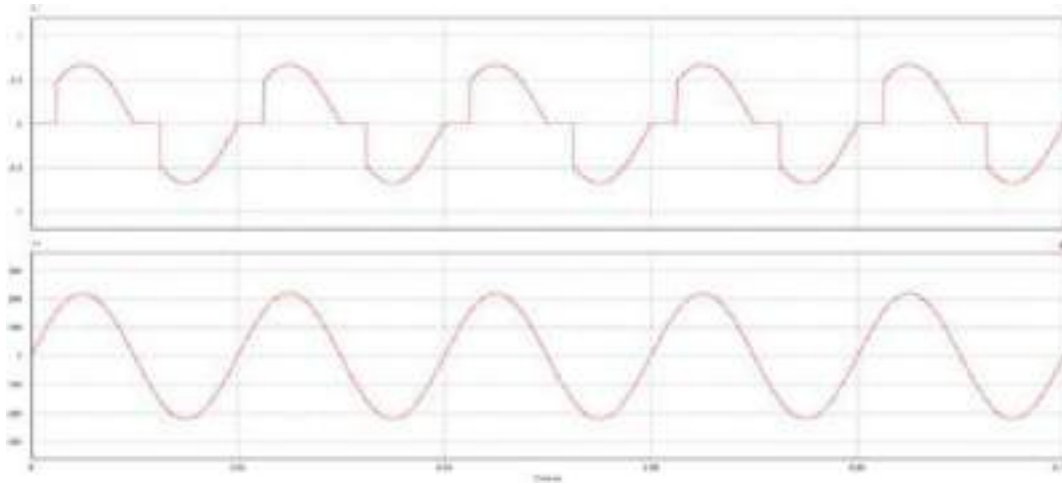
On full-wave AC voltage regulators, the Ignition delay is carried out on both positive and negative waves. This type of AC voltage regulator uses two SCR installed parallel or with a TRIAC. After being simulated, the input voltage wave is displayed as seen in figure 2. below.



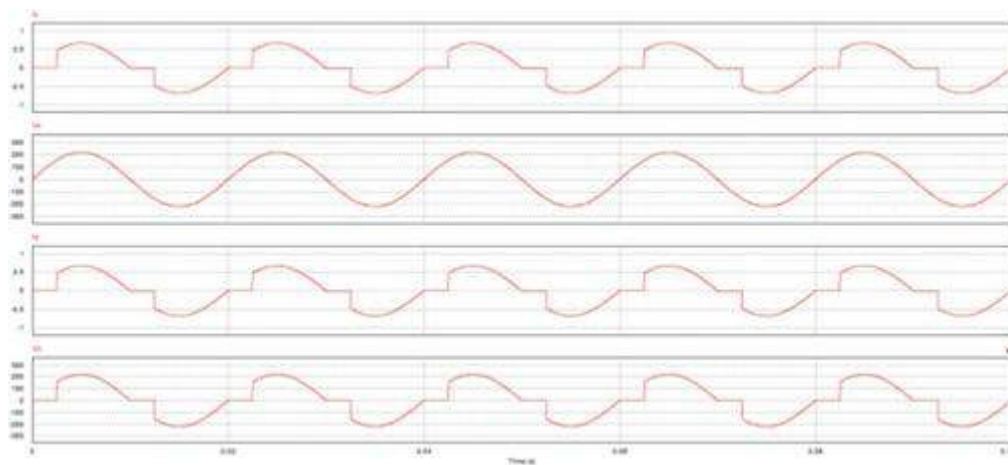
Gambar 2.3 Full-wave 1-Phase AC Voltage regulator circuit with SCR with Resistor load



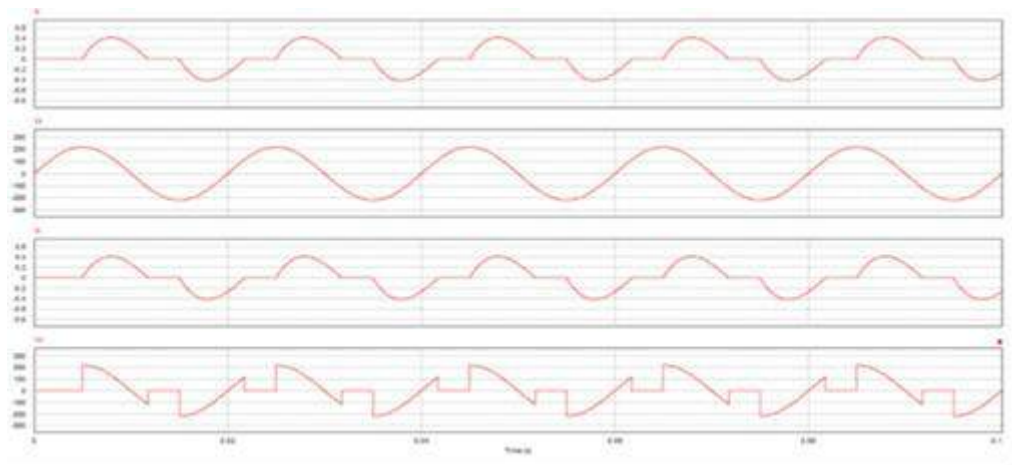
Gambar 2.4 Full-wave 1 Phase AC Voltage regulator circuit with SCR with Resistor load



*Gambar 2.5 Input Voltage Waveform*



*Gambar 2.6*



*Gambar 2.7 Load Input and Output Waveforms*

Figure 6. RL Load Input and Output Waveforms

Seen in the PSIM simulation results in figures 5 and 6, there is a difference in vrms voltage and Irms current generated using R load and RL load.

***Tabel 2.1 Result of Observations of Circuits with Load R***

$\alpha$	R (Ohm)	Vs(rms) (Volt)	Vo(rms) (Volt)	Io(rms) (A)	input	Output		
					V	I	V	I
15	325	155.56	155.56	0.477	220	0.67	219	0.67
30	325	155.56	153.31	0.471	220	0.67	219	0.67
45	325	155.56	148.28	0.456	220	0.67	219	0.67
60	325	155.56	139.50	0.429	220	0.67	219	0.67
75	325	155.56	126.68	0.389	220	0.67	219	0.67
90	325	155.56	109.88	0.338	220	0.67	219	0.67
100	325	155.56	97.164	0.298	220	0.67	219	0.67

$\alpha$	R (Ohm)	L (mH)	Vs(rms) (Volt)	Vo(rms) (Volt)	Io(rms) (A)	input		Output	
						V	I	V	I
15	325	500	155.56	155.53	0.431	220	0.55	219	0.55
30	325	500	155.56	154.63	0.426	220	0.54	219	0.54
45	325	500	155.56	149.62	0.403	220	0.50	219	0.50
60	325	500	155.56	140.93	0.369	220	0.43	219	0.43
75	325	500	155.56	128.22	0.323	220	0.28	220	0.28
90	325	500	155.56	111.54	0.268	220	0.21	1.10	0.21
100	325	500	155.56	98.95	0.228	220	0.21	1.10	0.21

Gambar 2.8

Table 2. Result of Observations of Circuits with RL Load

Testing of the rectifier circuit is controlled by using the resistance load for fixed input voltage conditions, varying angles. From the data from the experiment above, it can be seen that the value of the output voltage in the Circuit with an average load R is always constant at a value of 219 Volts, even though the values of Vrms and Irms change. While the Circuit with RL Load Decreases When the angle is 90 and 100 degrees. From the attached experimental data, the average voltage of the rectifier output can be maintained constant at the input voltage value, which is 220 Volts each.

Tables 1 and 2 show the results of observations using R and RL loads. The Vrms value at the output voltage periodically indicates a value whose value gets smaller if the angular value gets larger. The decrease in the load R is greater than the Decrease in the value of Vrms in the load RL.

## E. Conclusion

**F. Based on the analysis of the observation data obtained Vrms values at the output voltage periodically showing values whose values are getting smaller if the angular value is getting bigger. The decrease in the load R is greater than the Decrease in the value of Vrms in the load RL.**

## Daftar Pustaka

- [1] Febrianti, C and Nugraha, AT. "Implementasi Sensor Flowmeter pada Auxiliary Engine Kapal Berbasis Outseal PLC." *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication (COMPLETE)* 3.2, 2022
- [2] Handandi, ZZ, Putra, RAPA, Raihan, MH, Nugraha, AT and Widyaningrum, LA. "HOW THE PERFORMANCE OF A DC MOTOR SYSTEM IS IMPACTED BY NOISE." *Jurnal Teknologi Maritim* 6.1, 2023, pp. 11-16.
- [3] Agna, DIY, Yuniza, SI and Nugraha, AT. "The single-phase controlled half wave rectifier with single-phase generator circuit model to establish stable DC voltage converter result." *International Journal of Advanced Electrical and Computer Engineering* 3.3, 2022
- [4] Nugraha, AT, Mubarrok, MR, Yuniza, SI and Sugianto, MGPA. "Analysis of Thyristor Usage in Controlled Half-Wave Rectifiers on DC Motor Speed Control." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 2.1, 2023, pp. 74-82.
- [5] Febrianto, R and Nugraha, AT. "Perancangan Battery Charger Menggunakan Energi Penggerak Mikro Hidro Berbasis Arduino Uno." *Seminar Master Ppns* 6.1, 2021
- [6] Cahyono, L, Apriani, M, Nugraha, AT and Utomo, AP. "Time Risk Analysis Of Implementation Self-Managed Community Project In Bangil–Kalianyar Village." *Jurnal Pensil: Pendidikan Teknik Sipil* 11, 2022, pp. 143-152.
- [7] Nugraha, AT, Hidayat, EP, Mudjiono, U and Widodo, HA. "ANALISIS POSTUR TUBUH PEKERJA PADA AKTIVITAS PROYEK KONSTRUKSI DENGAN METODE RULA (RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT) DI CV. BASANI." *Jurnal Cakrawala Maritim* 4.2, 2021, pp. 9-21.
- [8] Eviningsih, RP, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Optimization of Application Control Using LQR and LQT Approaches: A Study on Community-Based Development Programs." *Maritime in Community Service and Empowerment* 1.1, 2023, pp. 9-17.
- [9] Tiwana, MZA, Adiando, A and Nugraha, AT. "Perancangan Sistem Monitoring Dan Alarm Berbasis Logic Panel Dan Komunikasi Modbus." *Seminar Master Ppns* 6.1, 2021
- [10] Nugraha, AT, Ramadhan, MF and Shiddiq, MJ. "Planning Of A 70 kW Solar Power Plant In Magersari Village." *JEEMECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science ...)*, 2024
- [11] Nugraha, AT, Pambudi, DSA, Utomo, AP, Priyambodo, D, Hari, MD and .... "Rancang Bangun Battery Charger Pada Pembangkit Listrik Portabel Energi Terbarukan Berbasis Arduino Uno R3." *ID Patent* EC002,022,104,299, 2022
- [12] Nugraha, AT, Pambudi, DSA, Utomo, AP and Priyambodo, D. "Battery Charger Design in a Renewable Energy Portable Power Plant Based on Arduino Uno R3." *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Biomedical ...*, 2022
- [13] Nugraha, AT. "PEMODELAN DAN SIMULASI OPEN LOOP SERTA CLOSE LOOP MOTOR DC TYPE 18105 ORDE 2." *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)* 10.1, 2024
- [14] Nugraha, AT and Shiddiq, MJ. "Design and Development of a Distance and Heart Rate Monitoring System for a Dynamic Bicycle." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 2.2, 2024, pp. 1-11.

- [15] Rahim, R, Kurniasih, N, Hasibuan, A, Andriany, L, Najmurokhman, A and .... "Congklak, a traditional game solution approach with breadth first search." MATEC web of Conferences 197, 2018, p. 3007.
- [16] Magriza, RY, Hidayana, E, Nugraha, AT and Evaningsih, RP. "Design and Implementation of Water Quality Control in Catfish Farming Using Fuzzy Logic Method with IoT-Based Monitoring System.." Jurnal Teknologi Maritim 4.1, 2021, pp. 13-18.
- [17] Muttaqin, IM, Yuniza, SI and Nugraha, AT. "Performance Analysis of a Single-Phase Controlled Half-Wave Rectifier Applied to AC Motor." Journal of Electrical, Marine and Its Application 2.2, 2024, pp. 1-10.
- [18] Lumintang, AADC, Yuniza, SI, Hidayat, EP, Nugraha, AT and Indarti, R. "Rancang Bangun Pendeteksi Kebakaran Dini Pada Kapal Ikan Berbasis IoT Dengan Komunikasi LoRa." Jurnal 7 Samudra 8.1, 2023
- [19] Nugraha, AT, Asri, P, Sunarno, E, Eviningsih, RP, Putra, ZMA, Indaryani, S and .... "Design Build an Off Grid Based Solar Power Plant System Using The Bidirectional Buck And Boost Topology In The Conservation Of Sea Pearl Turtles." E3S Web of Conferences 473, 2024, p. 1006.
- [20] Agna, DIY, Sobhita, RA and Nugraha, AT. "Penyearah gelombang penuh 3 fasa tak terkendali dari generator kapal AC 3 fasa." Seminar MASTER PPNS 8.1, 2023, pp. 214-221.

## BAB III

# Rektifier Terkontrol Satu Fasa Gelombang Penuh untuk Mengatur Laju Motor AC

Oleh: **Muhammad Adimassyah**

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

### Abstrak

*Pengendali kecepatan motor dapat menggunakan metode dengan mengatur frekuensi, mengubah jumlah pasang kutub, pengatur tahanan luar, pengatur tegangan masuk jangkar, pengontrol vektor, pengubah tegangan, pengubah frekuensi jala-jala dan, penggunaan perangkat komponen elektronika (Sutriyono, 2017). Motor induksi sistem peroperasiannya tidak hanya bekerja pada beban penuh, akibatnya hanya menghambat sistem kerja. Teknik mengontrol putaran kecepatan motor, kemudian mengubah besaran tegangan masukan dengan mensinkronkan besaran beban dimana itu yang berpengaruh dalam besaran power factor untuk motornya, sehingga kelemahan tersebut dapat diambil manfaatnya. Sistem ini kemudian diterapkan dalam TRIAC sesuai kinerja motor yang diharapkan, dengan cara diberikan laju pada aliran putaran motor. Penggunaan thyristor pada sistem pengaturan ini bertujuan sengai pengontrol kecepatan motor secara komprehensif. Apabila semakin tinggi dalam pemberian tegangan, arus akan bertambah besar. Dengan prinsip tersebut dengan disertakan oleh kemajuan pada bidang power electronics maka tegangan masukan induction motor dikontrol besaran tegangannya menggunakan firing angel pada TRIAC dengan pengaturan variabel resistor maupun potensiometer, dengan demikian motor memperoleh tegangan yang dibutuhkan pada putaran rotor serta bisa dikendalikan sesuai yang diharapkan. Kata kunci: Motor AC Satu Fasa, Bidirectional Triode Thyristor (TRIAC),*

Abstract : Motor speed controllers can use methods by adjusting frequencies, changing the number of pole pairs, outer holding regulators, anchor entry voltage regulators, vector controllers, voltage modifiers, mesh frequency changers and, using electronic devices (components). The induction motor operating system not only works at full load, as a result it only inhibits the working system. The technique of controlling the speed rotation of the motor, then changing the voltage of input by synchronising the amount of load where it is influential in the amount of power factor for the motor, so that the weakness can be taken advantage of. The system is then applied in TRIAC according to the expected motor performance, by given the speed on the motor rotation flow. The use of thyristor in this regulatory system aims to comprehensively control the speed of the motor. If the voltage is higher, the current will increase in size, and the current will increase. With this principle included by the progress in the field of power electronics, the input voltage induction motor is controlled by the voltage using firing angel on TRIAC with variable resistor and potentiometer settings, thus the motor obtains the voltage needed in the rotor rotation and

the load can be controlled as expected. Keywords : One Phase AC Motor, Bidirectional Triode Thyristor (TRIAC), Motor Speed Control.

## 1. PRELIMINARY

In the world of electronics, it is certain that you are familiar with the existence of various kinds of electronic circuits, where these electronic circuits can be applied to everyday life. Humans are spoiled with the help of various electronic equipment that utilizes various components used in the manufacture of electronic equipment. One of them is the use of TRIAC where this component is a semiconductor component that acts as a high-speed power connector. In general, triacs are operated at voltages over 100V and can carry currents in excess of 100A. So triacs are often used in AC power control systems, such as lamp dimmers, heater controls, motor speed controls, and others. Therefore, this module utilizes TRIAC as an AC motor speed controller. AC motors have advantages in terms of simplicity and low maintenance costs, so this type of motor is widely used in industrial and household environments. AC motor rotation speed can be controlled in several ways, including voltage and frequency control. Synchronous motors are AC motors that have a constant speed, however, the speed can be adjusted because it is directly proportional to the frequency. Synchronous motors are especially good for low speeds. The

advantages of this synchronous motor include: can be operated at lagging and leading power factors, there is no slip which can result in power losses so that this motor has high efficiency. While the weakness of the synchronous motor is that it does not have a starting torque, so certain methods are needed for starting.

## 2. LITERATURE REVIEW

2.1. Rectifier Circuit A rectifier circuit or rectifier is a circuit that can convert alternating current (AC) voltage into direct current (DC) voltage. Basically, the main component used is a diode. This is because the diode only conducts electric current in one direction and inhibits electric current from the opposite direction. So that when the diode is powered by AC current, only half the wave can pass through the diode, while the other half will be blocked. According to Moorthy (2005), Lander (1993), or Singh and Kanchanadhani (2007), the rectifier circuit can be classified into three, namely uncontrolled rectifier, half-controlled rectifier and fully-controlled rectifier. rectifiers). This rectifier circuit is divided into two types according to the output of the wave, namely half wave rectifier and full wave rectifier.

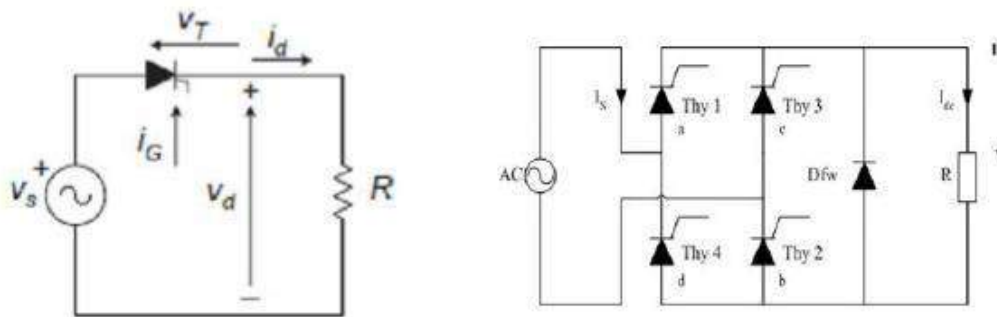
2.2. Controlled Rectifier Controlled rectifier is a power electronics circuit that can convert alternating current (AC) voltage into direct current (DC) voltage with an adjustable

value. The semiconductor component used is usually an SCR which operates as a switch, converter, and regulator. To get the desired output voltage value, you can make adjustments through the gate of the semiconductor component of the SCR. According to the input voltage source, the controlled rectifier circuit is divided into two, namely a single-phase controlled rectifier circuit and a three-phase controlled rectifier circuit.

Figure 2.2 Single-phase half-wave (left) and full-wave (right) single-phase controlled rectifier circuit

### 2.3. Full Wave Single Phase Controlled Rectifier Circuit

Single-phase controlled rectifier is a circuit that converts AC power to DC electricity which usually uses four SCR components as switches. The output voltage of this circuit can be regulated through the ignition angle of the SCR. This rectifier circuit requires 2 pairs of trigger pulses, namely a pair in the positive half-wave region and another pair in the negative half-wave region [15019-full]. In a full-wave single-phase controlled rectifier circuit, there are three types of circuits, namely a full-



Gambar 3.1

wave single-phase controlled rectifier with CT, a full-wave single-phase controlled rectifier with bridge connections, and a semi-controlled full-wave single-phase rectifier.

Figure 2.3 Full-wave single-phase controlled rectifier

The DC output voltage can be obtained in the following equation:

$$V_o(dc) = \frac{V_m}{\pi} [1 + \cos\alpha] \dots \dots \dots (2.1)$$

As for the rms output voltage is:

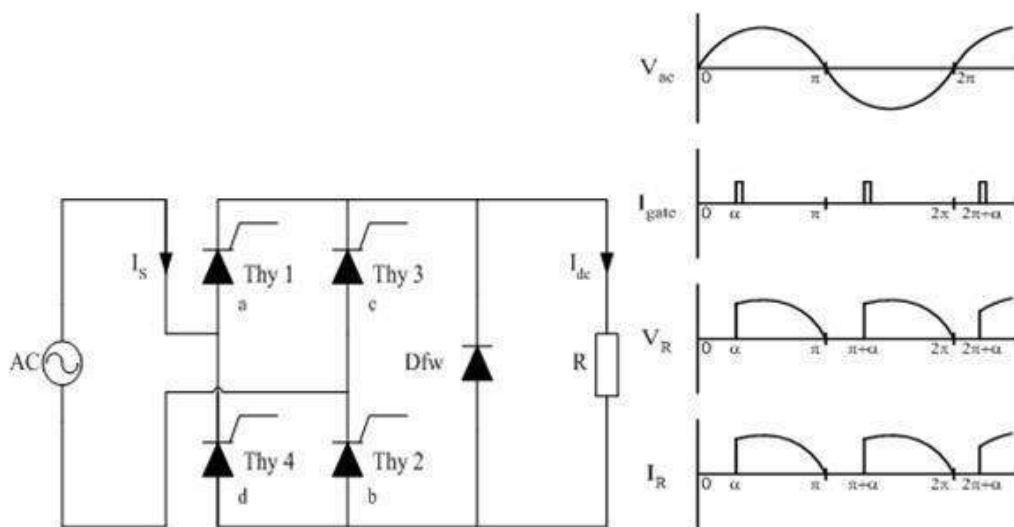
$$V_o(rms) = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} \dots \dots \dots (2.2)$$

### 2.4. TRIAC

Bidirectional Triode Thyristor is a term from TRIAC (Triode for Alternating Current). This component can conduct electricity from two directions immediately triggered. These electronic components are widely used in AC power control applications. So that it can be stimulated by being given a positive (+) or negative (-) voltage in the gate electrode. When pen triggering, current moving towards a place that is weaker to its grip will continue to deliver to the component, such as the last moment of the AC current cycle.

Figure 2.4 Physical form of TRIACPrinsip Kerja TRIAC

Its operation is the same as the use of SCR (Silicon Controlled Rectifier), the difference only lies when the SCR is connected to an alternating current circuit, by rectifying the output voltage while the concept of TRIAC is the output waveform that is delivered by the two intermediates. Therefore, the output of the TRIAC is not DC current but AC current. The TRIAC design is very useful in facilitating the increase in power control. The TRIAC switch is high voltage and well above ground current, and in both parts of the AC waveform. This tool is a three-terminal semiconductor instrument that is useful as an electric current controller. For an example of the TRIAC equivalent diagram, (Hasad, 2011).



Gambar 3.2 Physical form of TRIAC

#### 2.4.1 How TRIAC Works

TRIAC has 4 layers of semiconductors. TRIAC also has 4 layers which are named NPNP when the direction is negative and PNP when the direction is positive. The TRIAC acts like an open circuit switch when the three-terminal device on the TRIAC blocks or blocks current in the OFF state. Although this TRIAC can block current, it is different from conventional thyristors, when triggered by a TRIAC it can pass current in both directions. A

single gate pulse is a trigger for a TRIAC to be able to pass two electric currents in opposite directions.

Triggering that occurs in TRIAC will raise 4 possibilities, including:

I-Mode

Gate Current Negative (-ve) and MT2 Current Positive (+ve)

I+Mode

Gate Current Positive (+ve) and MT2 Current Positive (+ve)

III-Mode

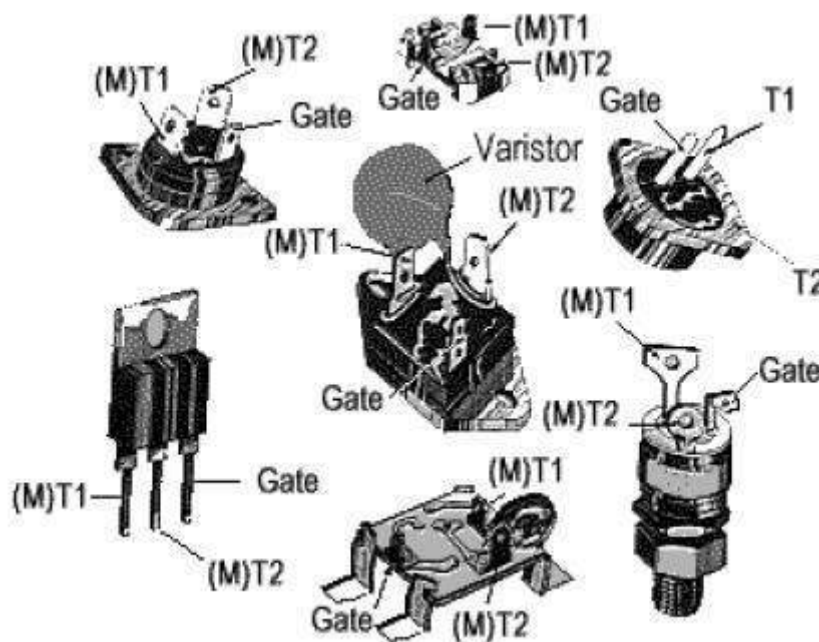
Gate Current Negative (-ve) and MT2 Current Negative (-ve)

III-Mode

Gate Current Positive (+ve) and MT2 Current Negative (-ve)

### 2.5. Motor AC (Alternating Current)

This motor is classified as an electric motor that will only operate if an AC (Alternating Current) voltage is applied. This motor has a rotor and a stator component. Single-phase AC motors have one stator winding, operate in a single-phase power supply, have a squirrel-like muscle, and only require a tool that is useful for starting the motor. In this case, this motor is most common in the use of household appliances, such as grandson machines, fans, clothes dryers and in the use of speeds of 3 to 4 hp. The stator gets a supply of electricity generated by a magnetic field. Then drive in



Gambar 3.3

synchronous position on the state in the rotor area. So that the field is generated the second magnet on the rotor and can cause the rotor to rotate when the stator is trying to fight the magnetic field One way to change the rotational speed of the motor is to change the voltage. Changing the input voltage on the motor can be done with a power electronic component in the form of a TRIAC. Speed regulation Equipped with a variable frequency drive system to control the speed and input to the motor, it can be done with a power electronic component in the form of a TRIAC. Speed regulation Equipped with a drive system at a variable frequency to control speed and minimize power consumption. Even though in reality this single-phase AC motor is classified as having low competitiveness in terms of efficiency and effectiveness, it is equivalent to a three-phase motor, while this motor shows something of wider use in a smaller size, especially in regional or commercial use (Prasetya, 2015).

3. METHOD In compiling this paper, the author uses the literature study method, which is a method that uses written sources obtained either through books or the internet as the basis for the discussion. 3.1 Software Usage In this full-wave single-phase controlled rectifier circuit simulation, PSIM software will be used. PSIM is a software used to perform simulations in the field of electronics and electric power systems. This software was developed by the company Power Sim Inc. [6285-15]. 3.2 Needs Analysis System requirements analysis is the stage of preparing the needs for tools and materials in the simulation that will be used later. The tools and materials used in the simulation of a full-wave single-phase controlled rectifier circuit on PSIM are:

1. Variac (Variable Alternating Current)
2. Single phase transformer
3. TRIAC
4. Resistor
5. Ammeter
6. Voltmeter
7. Oscilloscope
8. AC Motor

### 3.3 System Block Diagram

Variac (Variable The rectification Alternating Transformator 1 phasa process is carried Current ) out by TRIAC

Motor control test Take voltage and current measurements

### 3.4 Flowchart Sistem

Start

Input voltage on Variac 220V AC

Input voltage from Variac to transformer

Angle adjustable to adjust power output

Thyristor rectifies AC If the voltage voltage shortage

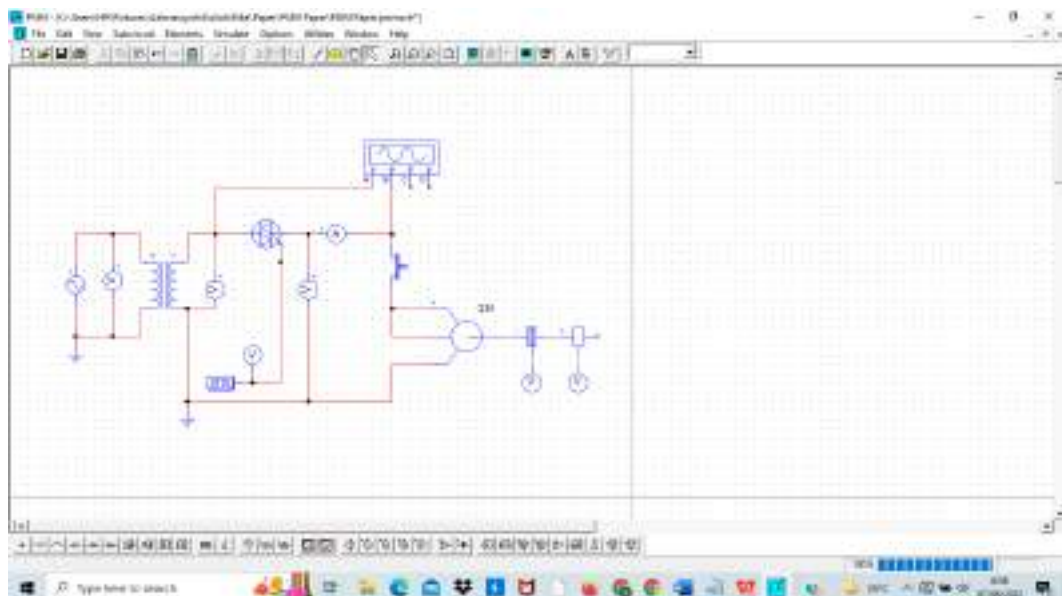
Angle adjustable to adjust power output

Stop

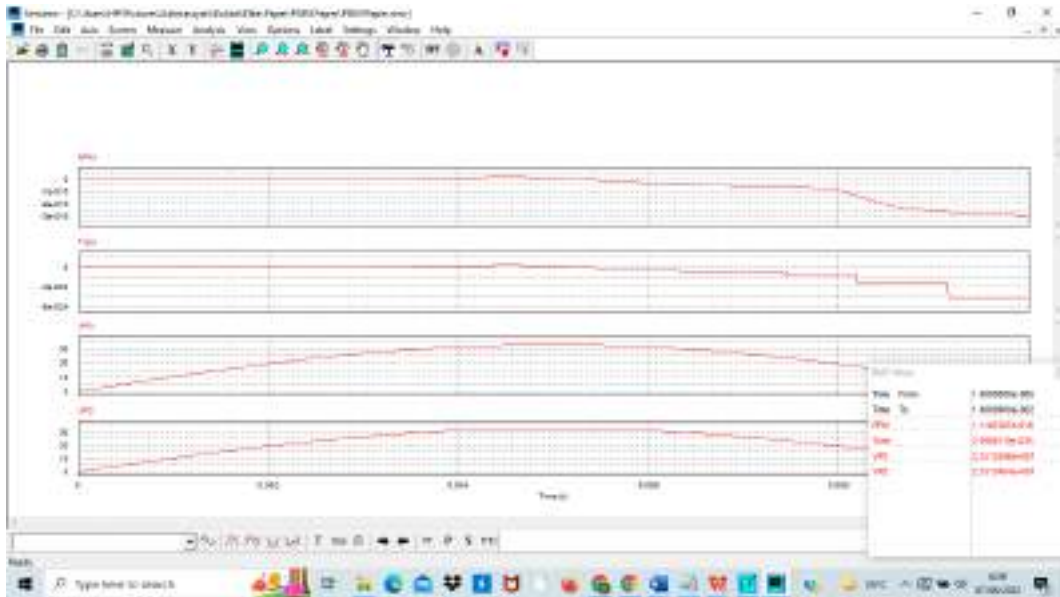
### 3.5 PSIM Simulation Circuit

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

### 4.1 Simulation on PSIM `



Gambar 3.4



Gambar 3.5

Angle  $\alpha$  V Source No Voltage Current 1 15 230.4 224.3 0.26 2 30 230.4 209 0.26 3 45 230.4 186.9 0.26 4 60 230.4 159.8 0.23 5 90 230.4 100.1 0.2 6 120 230.4 43.24 0.14

Based on the results of the controller circuit data that has been tested, it can be concluded that the single-phase capacitor motor tracer can convert its rotation for motor speed. At the current position of the rotary switch one to six on the different motor rotation scale, if the rotary switch position increases the speed one by one, the scale of the motor speed rotation decreases or is smaller. In reality, the result of this test is the input current into the motor and the current will decrease when the rotary switch increases. As a result the power required by the motor is getting smaller, and can minimize power.

5. CONCLUSION Based on the analysis carried out, it can be concluded that the test of the starter of the single phase capacitor motor has functioned and is working well for energy saving and is also used to control the rotation speed of the single phase capacitor motor. The load output voltage regulator is controlled by adjusting the TRIAC trigger angle. In resistive loads, the amount of current flowing in the load increases. The indirect voltage waveform falls at the zero position  $t =$ , while the input voltage changes in the negative which will delay the TRIAC to the off state at  $t =$ . The use of semiconductor equipment for single-phase AC motor speed control has several very significant advantages, namely the two-way semiconductor thyristor or TRIAC instrument because of the operation of a minimum additional part and a smooth control system is obtained and very small power loss. The application of a single phase motor is highly recommended because it can be useful for direct current (DC) or alternating current (AC). With the existence of several researchers from various sources,

it is hoped that later there will be developments and improvements with different systems or with additional tools in the form of basic results from the overall results of these conclusions, so that later they can provide benefits for those who will conduct research in the future, especially as a power-saving tool in related agencies and industry. and does not have a negative impact on the earth.

Posisi Rotary Switch	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Kecepatan Putaran Motor (Rpm)
1	220 V	1,52 A	2817 rpm
2	220 V	1,37 A	2027 rpm
3	220 V	1,29 A	1893 rpm
4	220 V	1,02 A	1671 rpm
5	220 V	0,84 A	1254 rpm
6	220 V	0,73 A	784 rpm

Gambar 3.6

## Daftar Pustaka

- [1] Nugraha, AT, Ruddianto, Ahmad, MM, Pambudi, DSA, Utomo, AP and .... "Rancang Bangun Ship Alarm Monitoring (SAM) Sebagai Solusi Keamanan Pengoperasian Auxiliary Engine." ID Patent EC00,202,204,473, 2022
- [2] Aziz, MNH, Setiyoko, AS and Nugraha, AT. "Trainer Kit Detector Fire Alarm System pada Kapal." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 11.2, 2021, pp. 49-58.
- [3] Fatqurrochman, MI, Saputra, DE and Nugraha, AT. "Performance Analysis of C23-L54 Series DC Motors in K3 System Using LQR Tracking Controller for Improved Operational Efficiency and Safety." *Journal of Safety, Health, and Environmental Engineering* 3.2, 2025, pp. 1-9.
- [4] Firdaus, AA, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Design and Development of a Prototype System for Temperature and Water Level Control in an Extruder Machine." *Journal of Electrical, Marine and Its Application* 1.1, 2023, pp. 1-7.
- [5] Rahman, MA, Poetro, JE and Nugraha, AT. "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Proteksi Motor 1 Phasa terhadap Gangguan Over Voltage dan Under Voltage." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 11.2, 2021, pp. 59-66.
- [6] Priyambodo, D and Nugraha, AT. "Design and build a photovoltaic and vertical Savonius turbine power plant as an alternative power supply to help save energy in skyscrapers." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics ...*, 2021
- [7] Nugraha, AT, Mubarrok, MR, Yuniza, SI and Sugianto, MGPA. "Analysis of Thyristor Usage in Controlled Half-Wave Rectifiers on DC Motor Speed Control." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 2.1, 2023, pp. 74-82.
- [8] Rohman, A, Nugraha, AT, Rachmadillah, DA, Hidayah, E and Herdiansyah, Y. "SKKD NO. 297/UN25. 5.1/TU. 3/2016." AKSELERASI BUDIDAYA IKAN LELE DENGAN PENAMBAHAN SISTEM KONTROL KEKERUHAN KOLAM."., 2016
- [9] Nugraha, AT. "Buku Desain Kontrol Path Following Quadcopter dengan Command Generator Tracker Model Following.", 2024
- [10] Nugraha, AT, Ramadhan, MF, Shiddiq, MJ and Fathurrohman, MF. "Comparison of Insulated Switch Gear with Desiccant Addition to SF6 Gas Quality System at Waru Substation." *JEEMECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science ...*, 2023

- [11] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Riyadi, F, Sheila, SY, Prmaudika, AES and .... "PERANCANGAN CUK CONVERTER DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI PSIM UNTUK PENERAPAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 3.1, 2023, pp. 78-85.
- [12] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Hazim, A, Ashlah, MB, Fathurrohman, MF and .... "ANALISA SEPIC KONVERTER SEBAGAI PENGENDALI KECEPATAN MOTOR DC DI INDUSTRY." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 3.1, 2023, pp. 86-95.
- [13] Muttaqin, IM, Yuniza, SI and Nugraha, AT. "Performance Analysis of a Single-Phase Controlled Half-Wave Rectifier Applied to AC Motor." *Journal of Electrical, Marine and Its Application* 2.2, 2024, pp. 1-10.
- [14] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Riyadi, F, Sheila, SY, Pramudika, AES and .... "DESAIN DAN SIMULASI BUCK-BOOST CONVERTER MENGGUNAKAN PSIM PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 3.1, 2023, pp. 68-77.
- [15] Budi, FS, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Comparison of LQR and LQT Control of Uncertain Nonlinear Systems." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1, 2025, pp. 10-17.
- [16] Nugraha, AT, Nial, M, Agna, DIY and Zaibah, S. "Community Empowerment Through DC Motor Speed Control Using PSIM-Based Full Wave Rectifiers." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 1.1, 2022, pp. 67-77.
- [17] Nugraha, AT. "Design and build a distance and heart rate monitoring system on a dynamic bike integrated with power generating system." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics* ..., 2022
- [18] Nugraha, AT, Rudianto, Ahmad, MM, Prambudi, DSA, Utomo, AP and .... "Buku Rancang Bangun Ship Alarm Monitoring (SAM) Sebagai Solusi Keamanan Pengoperasian Auxiliary Engine.", 2021
- [19] Utomo, AP, Ruddianto, Cahyono, L, Nugraha, AT, Apriani, M and Nugroho, MI. "Buku Pelatihan Pembuatan Terumbu Buatan Berbasis Eco Friendly.", 2024
- [20] Pradana, RBP, Widiarti, Y and Nugraha, AT. "Implementasi Komunikasi LoRa RFM95 untuk Pengiriman Data Tegangan dan Arus pada Panel Shore Connection." *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 10.2, 2020, pp. 45-51.

## BAB IV

# Perbandingan Respon Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode PID dan LQR

Oleh: **Muhammad Handy Wahyu Pradana**

*Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*

**Kata Kunci:** *Series DC Motor, LQR, PID, speed control, MATLAB*

Motor DC merupakan jenis motor yang mudah digunakan dan memiliki rentang kendali kecepatan yang luas, serta banyak digunakan di berbagai bidang seperti industri, robot, dan rumah tangga. Salah satu jenis motor DC adalah motor DC seri. Motor DC seri dicirikan oleh torsi awal yang tinggi. Oleh karena itu, mesin ini sering mengalami overshoot saat pertama kali dinyalakan. Selain itu, mesin ini kurang stabil. Torsi tinggi melambat dan sebaliknya. Namun, motor ini cenderung berlari sangat cepat saat idling. Kontroler harus digunakan untuk menyempurnakan kecepatan motor untuk hasil akhir yang stabil dan untuk meminimalkan overshoot. Dalam makalah ini, perbandingan simulasi dengan MATLAB dilakukan antara dua pengontrol untuk kontrol kecepatan motor DC seri: PID (Proportional-Integral-Differential) dan LQR (Linear-quadratic regulator). Kecepatan mesin dikendalikan oleh 4 perubahan kecepatan. Hasil akhir yang diperoleh dengan kedua kontroler menunjukkan error yang sangat kecil. Kontroler PID memberikan waktu respons kecepatan rotor yang lebih pendek daripada LQR, tetapi dengan PID, overshoot LQR dapat sepenuhnya dihilangkan. Demikian pula, arus awal dengan kontroler PID jauh lebih tinggi daripada dengan kontroler LQR.

ABSTRACT DC motor is a type of motor that is easy to use and has a wide speed control range, and is widely used in various fields such as industry, robotics, and households. One type of DC motor is a series DC motor. Series DC motors are characterized by high starting torque. Therefore, this machine often overshoots when it is first started. In addition, this machine is less stable. High torque slows down and vice versa. However, this bike tends to run very fast when idling. A controller should be used to fine-tune the motor speed for a stable finish and to minimize overshoot. In this paper, a simulation comparison with MATLAB is carried out between two controllers for speed control of a series DC motor: PID (Proportional-Integral-Differential) and LQR (Linear-quadratic regulator). The engine speed is controlled by 4 speed changes. The final results obtained with both controllers show very small errors. The PID controller provides shorter rotor speed response times than LQR,

but with PID, LQR overshoot can be completely eliminated. Similarly, the starting current with the PID controller is much higher than with the LQR controller.

1. PENDAHULUAN perpindahan rotasi halus sangat diperlukan untuk 1.1 Latar Belakang mengurangi getaran dan dampak mekanis selama Motor DC merupakan jenis motor yang mudah pengapian awal. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan dan memiliki rentang kendali kecepatan diperlukan suatu sistem kendali. yang luas, serta banyak digunakan di berbagai bidang Sistem kendali biasanya digunakan untuk masalah seperti industri, robot, dan rumah tangga. yang berkaitan dengan overshoot, settling time, dan Salah satu jenis motor DC adalah motor DC seri. stabilitas sistem saat engine ingin beralih ke kondisi Motor DC seri dicirikan oleh torsi awal yang tinggi. tunak. Oleh karena itu, mesin ini sering mengalami Sistem kendali yang banyak digunakan adalah sistem overshoot saat pertama kali dinyalakan. Selain itu, kendali proporsional-integral-diferensial (PID). PID mesin ini kurang stabil. Torsi tinggi melambat dan memiliki struktur yang sederhana dan pengaturan sebaliknya. Namun, motor ini cenderung sangat cepat parameter yang mudah dimungkinkan. Namun, ada saat idling. banyak sistem kendali lain yang tersedia, salah Kecepatan variabel sering diperlukan saat satunya adalah linier quadratic regulator (LQR). menggunakan motor. Demikian pula, penyesuaian

1.2 Rumusan Masalah Adapun rumusan masalah dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

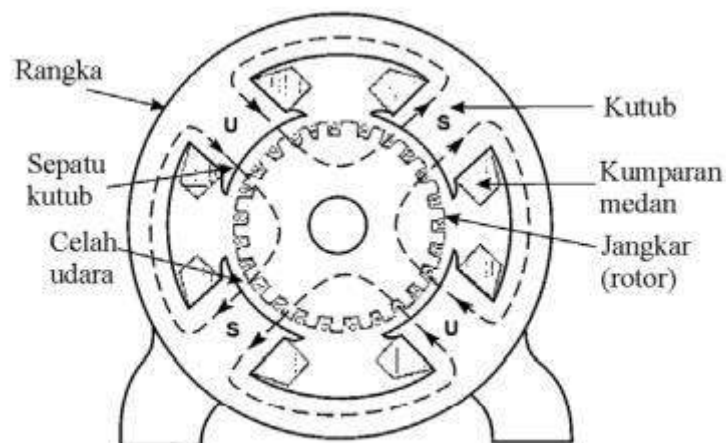
1. Bagaimana cara merancang dan menyimulasikan kontroller PID dan LQR dalam menciptakan kestabilan motor DC pada suatu kecepatan yang diinginkan. 2. Bagaimana perbandingan kedua respon sistem dari kedua kontroller yang digunakan.

1.3 Tujuan Gambar 2. Kontruksi motor DC bagian Rotor Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut: 2. Prinsip Kerja Motor DC 1. Mendapatkan hasil optimum respon Semua garis hidup dikelilingi oleh medan magnet. keluaran masing-masing kontroller dari Arahnya dapat ditentukan dengan aturan tangan kanan. Kuat medan listrik bergantung pada kuat arus simulasi yang dilakukan. yang mengalir melalui penghantar [3]. 2. Mendapatkan kurva perbandingan respon Arus mengalir dari sumber tegangan DC melalui sistem yang dihasilkan oleh kontroller PID kumparan jangkar, dan jangkar bertindak seperti dan LQR. magnet. Gambar 3. menunjukkan prinsip fungsional motor DC magnet permanen. a. Pada posisi 1, arus mengalir dari sikat positif 2. PEMBAHASAN ke sikat negatif. Torsi dihasilkan untuk 2.1 Motor DC memutar motor berlawanan arah jarum jam. Sebuah mesin yang mengubah energi listrik DC b. Ketika bagian produksi berada di posisi 2, menjadi energi mekanik dikenal sebagai motor DC. Fungsinya didasarkan pada prinsip bahwa konduktor

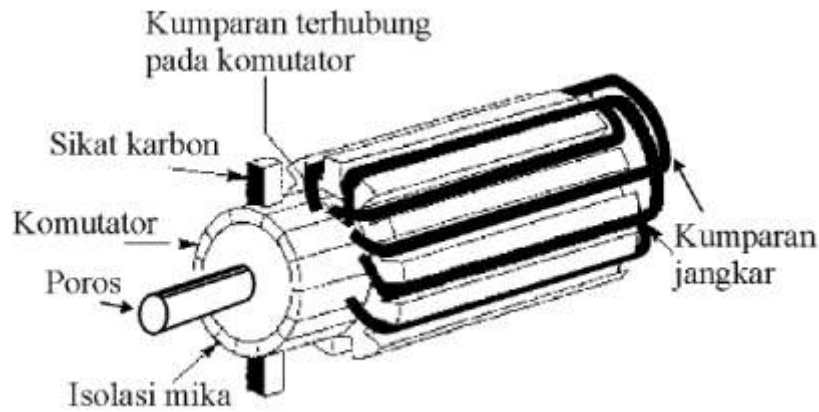
sikat dihubungkan ke kedua bagian konduktor menerima gaya mekanik dalam medan komutator. Tidak ada torsi yang dihasilkan magnet [1]. karena aliran arus di motor terputus. Namun, 1. Kontruksi Motor DC karena inersia, motor akan berputar di luar Secara umum, motor DC memiliki struktur yang titik netral. sama dan dibagi menjadi dua bagian, bagian yang c. Pada posisi 3 sisi jangkar berlawanan diam dan bagian yang bergerak. Bagian yang diam dengan sisi jangkar pada posisi 1. Bagian disebut stator dan bagian yang berputar disebut rotor [2]. Untuk lebih jelasnya, struktur bagian stator motor komutator membalikkan arah arus elektron DC ditunjukkan pada Gambar 1. dan bagian rotor dari yang melalui kumparan jangkar. Oleh struktur motor DC ditunjukkan pada Gambar 2. karena itu, arah arus kumparan jangkar sama dengan posisi 1. Sebuah torsi dihasilkan dan jangkar berputar berlawanan arah jarum jam. d. Jangkar di titik netral. Karena inersia poros jangkar, jangkar berputar terus-menerus.

Gambar 1. Kontruksi motor DC bagian Stator

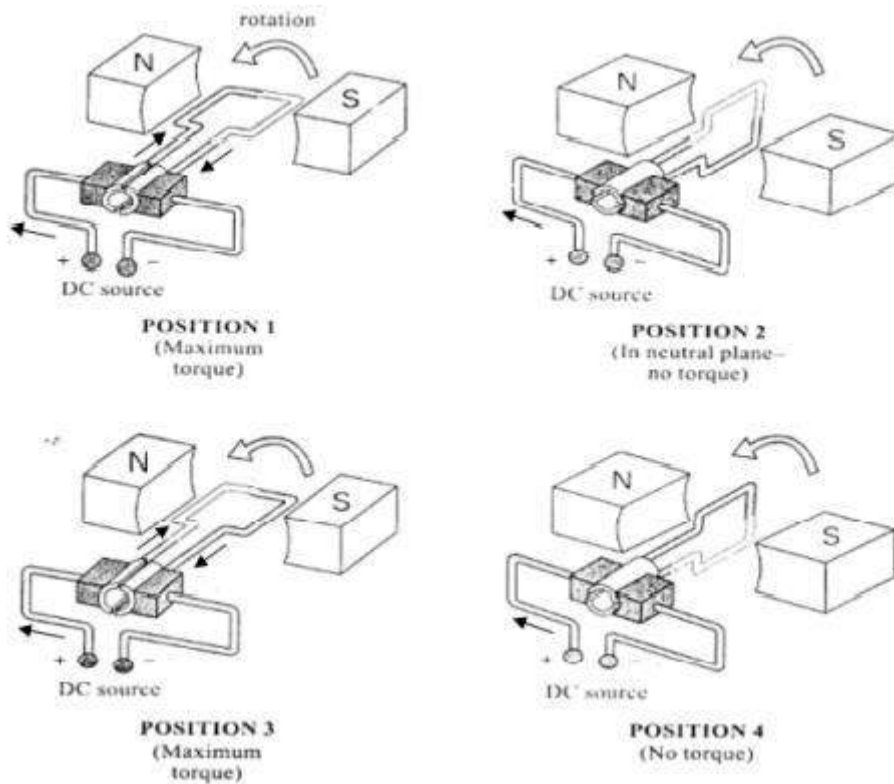
Gambar 3. Prinsip kerja motor DC 232



Gambar 4.1



Gambar 4.2

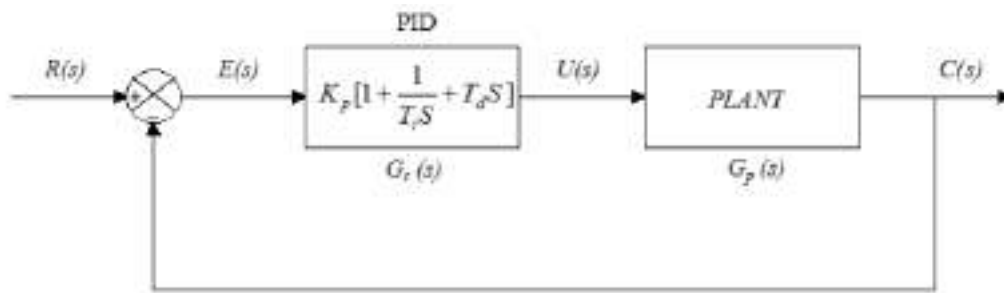


Gambar 4.3 Diagram Blok Kontrol PID

2.2 Linier Quadratic Regulator Aspek yang sangat penting dalam merancang Sistem terbaik adalah yang berkinerja terbaik untuk kontroler PID adalah menentukan parameter referensi tertentu. Sistem kontrol yang optimal kontroler PID sehingga sistem loop tertutup memerlukan adanya kriteria optimasi yang dapat memenuhi kriteria kinerja yang diinginkan. Ini juga meminimalkan hasil pengukuran ke perilaku ideal dikenal sebagai penyetelan pengontrol. Ziegler jika sistem menyimpang dari operasi [4]. Nichols memperkenalkan dua metode penyesuaian, Ini diukur dengan menentukan indeks kinerja, yang metode pertama

dan metode kedua. merupakan fungsi harga yang dapat dipertimbangkan a. Metode Pertama untuk menunjukkan seberapa baik kinerja sistem Metode pertama adalah secara eksperimental yang sebenarnya sesuai dengan kinerja yang mendapatkan reaksi plant terhadap masukan dari diinginkan. Indeks kinerja adalah tolak ukur untuk unit-step. Respon diwakili oleh dua parameter. L sistem kontrol yang optimal. Sistem optimal ketika nilai indeks kinerja terendah. adalah waktu tunda dan T adalah konstanta waktu. Dalam beberapa proses, gangguan menyebabkan Parameter ini diperoleh dengan menggambarkan variabel kontrol menyimpang. Regulator dirancang tangen respon langkah pada infleksi, dan tidak ada untuk mengkompensasi gangguan. perpotongan sumbu waktu dan nilai tunak. LQR merupakan salah satu cara untuk merancang Parameter kontrol Ziegler-Nichols diturunkan sistem kontrol yang optimal. Keuntungan dari metode dari persamaan yang ditunjukkan pada Tabel 1. kontrol optimal kuadratik adalah bahwa bentuk sistem kontrol ini dapat menyediakan cara sistematis Tabel 1. Persamaan metode pertama Ziegler- untuk menghitung matriks penguat umpan balik Nichols keadaan (K) untuk m input (u). Format sinyal kontrol, yaitu: Tipe Kp Ti Td  $u(t) = -Kx(t)$  (1) Kontrol Dengan bentuk indeks kerjanya: P T/L  $\infty 0 \infty$  PI 0.9T/L L/0.3 0 J =  $\int_0^t [x^T Qx + u^T Ru] dt$  (2) Dimana: PID 1.2T/L 2L 0.5L Q= matriks simetris, semi definit positif, real (Q $\geq$ 0) R= matriks simetris, definit positif, real (R>0) b. Metode Kedua Matriks Q dan R menentukan nilai kesalahan dan Teknik ini dikembangkan untuk mencapai hasil konsumsi energi. Dalam hal ini, kita asumsikan dalam sistem loop tertutup dengan overshoot bahwa vektor kendali u(t) tidak dibatasi. maksimum 25%. Prosedur penyetelan untuk Aturan kontrol linier yang termasuk dalam persamaan metode Ziegler-Nichols kedua adalah sebagai (1) adalah aturan kontrol optimal. Jika elemen matriks K yang tidak diketahui dan angka merit berikut: minimum telah ditentukan, format persamaan (1) 1. Hanya menggunakan kontrol umpan balik adalah yang terbaik untuk setiap keadaan awal x(0). proporsional. 2.3 Kontroler Proporsional – Integral – 2. Kurangi penguatan integrator dan diferensial Derivative (PID) menjadi nol. Kombinasi peristiwa kendali proporsional, peristiwa 3. Menaikkan Kp dari 0 ke nilai kritis (critical kendali integral, dan peristiwa kendali turunan value). Getaran terus menerus terjadi ketika disebut proporsional ditambah integral ditambah peristiwa kendali turunan. Persamaan untuk ketiga Kp = Kc. Jika tidak, Anda dapat kombinasi ini adalah: menggunakan metode lain.  $K t u(t) = Kp e(t) + p \int_0^t e(t)dt + Kp Td de(t)$  (3) 4. Catat nilai Kc dan periode osilasi kontinu  $Ki dt$  yang sesuai Pc. Fungsi alihnya adalah:  $U(s) = Kp [1 + Td \cdot s]$  (4) Tabel 2. menunjukkan gain pengontrol dari metode  $E(s) = Ti \cdot s$  dengan Kp penguatan proporsional, Ti waktu Ziegler-Nichols. integral, dan Td waktu turunan. Tabel 2. Persamaan metode kedua

Ziegler-Nichols Kontrol PID ditunjukkan pada Gambar 4. Tipe Kp Ti Td Kontrol P 0.5Kc  
 $\infty$  0 PI 0.45Kc Pc/0.3 0 PID 0.6Kc Pc/2 Pc/8



Gambar 4.4

2.4 Perolehan Parameter PID Karena nilai Pc sudah diketahui, maka dapat Untuk memperoleh parameter PID digunakan metode mendapatkan nilai Kp, Ti, Td dari Tabel 2. kedua Ziegler-Nichols. Motor DC dimodelkan dalam Tipe Kp Ti Td fungsi transfer loop terbuka sebagai berikut: Kontrol 1 P 4  $\infty$  0  $G(s) = \text{PI } 3.6 \ 3 \ 0 \ (s + 1)^3$  Dari fungsi transfer diatas dapat menghitung nilai PID 4.8 1.8 0.45 gain margin dan frekuensi margin. Dari tabel diatas Kp, Ti, Td diperoleh, kita dapat • Menghitung gain margin menentukan nilai parameter PID dengan persamaan  $C(s) KG(s) (4) = U(s) \ 1 \ G(s) \ 1 + KG(s) \cdot H(s) = Kp [1 + Td \cdot s] E(s) \ Ti \cdot s$  jadi  $U(s) \ 1 = 4.8 [1 + 0.45s] E(s) \ 1.8s \ 1 + KG(s) \cdot H(s) = 0 \ U(s) \ 2.667 \ K = 4.8 + 2.16s \ 1 + 3 = 0 \ E(s) \ s \ s + 3s \ 2 + 3s + 1 \ s^3 + 3s^2 + 3s + (1 + K) = 0 \ 2.5$  Pemodelan Motor dalam Bentuk State  $s^3 \ 1 \ 3 \ \text{Space } s \ 2 \ 3 \ 1 + K$  Motor dimodelkan dalam bentuk state space, yaitu:  $s^1 \ b_1 \ b_2 \ x' \ t = Ax(t) + Bu(t) \ s \ 0 \ c_1 \ c_2 \ y(t) = Cx(t) \ (3.3) - (1. (1 + K)) \ 9 - 1 - K \ 8 - K$  Dimana matriks A, B, C ditentukan oleh:  $b_1 = = = 7.2 \ 0.1236 \ 3 \ 3 \ 3 - - \ 1 \ b_2 = 0 \ A = [ \ 0.0917 \ 0.0917 \ ], \ B = [ \ 0.0917 \ ] \ 0.1236 \ 0.004 \ 8 - K - 0 \ 1 \ K \ 30 \ c_1 = 3 \ . + - . = 1 + K \ 0.0007046 \ 0.0007046 \ 8 - K \ C = [ \ 0 \ 1 \ ] \ 3 \ c_2 = 0$  Untuk memperoleh matriks Q dan R digunakan script Mencari daerah kestabilan program MATLAB dengan metode trial and error yang dapat dilihat pada Lampiran II, di mana syarat •  $b_1 > 0$  matriks Q adalah matriks semidefinit positif real ( $Q \geq 8 \ K \ 8 \ K - > 0 \rightarrow > 0$ ) dan matriks R adalah matriks definit positif real  $3 \ 3 \ 3 \ 3 \ 8 \ 3 \ (R > 0)$ . •  $< K \rightarrow K < 8 \ 3 \ 1$  Kita tetapkan nilai awal  $Q = [ \ 1 \ 0 \ ]$  dan  $R = \cdot \ c_1 > 0 \ 0 \ 1 \ 1 + K > 0 \ [ \ 1.15 \ ]$  2.6 Simulasi PID dan LQR  $-1 > K$  Dalam simulasi ini, motor akan di-set pada kecepatan Jadi  $\rightarrow -1 < K < 8$  yang bervariasi yaitu 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm, dan 2000 rpm. • Menghitung frekuensi margin 1. Simulasi pada Kecepatan 500 rpm  $s^3 \ 1 \ 3$  Simulasi dilakukan dengan masukkan kecepatan  $s \ 2 \ 3 \ 9$  referensi sebesar 500 rpm seperti yang terlihat pada Row 3 0 0 Gambar 5. Row 4  $3s^2 + 9 = 0 \ -b \pm \sqrt{b^2 - 4ac} \ S_{1,2} = .j \ 2a - 0$

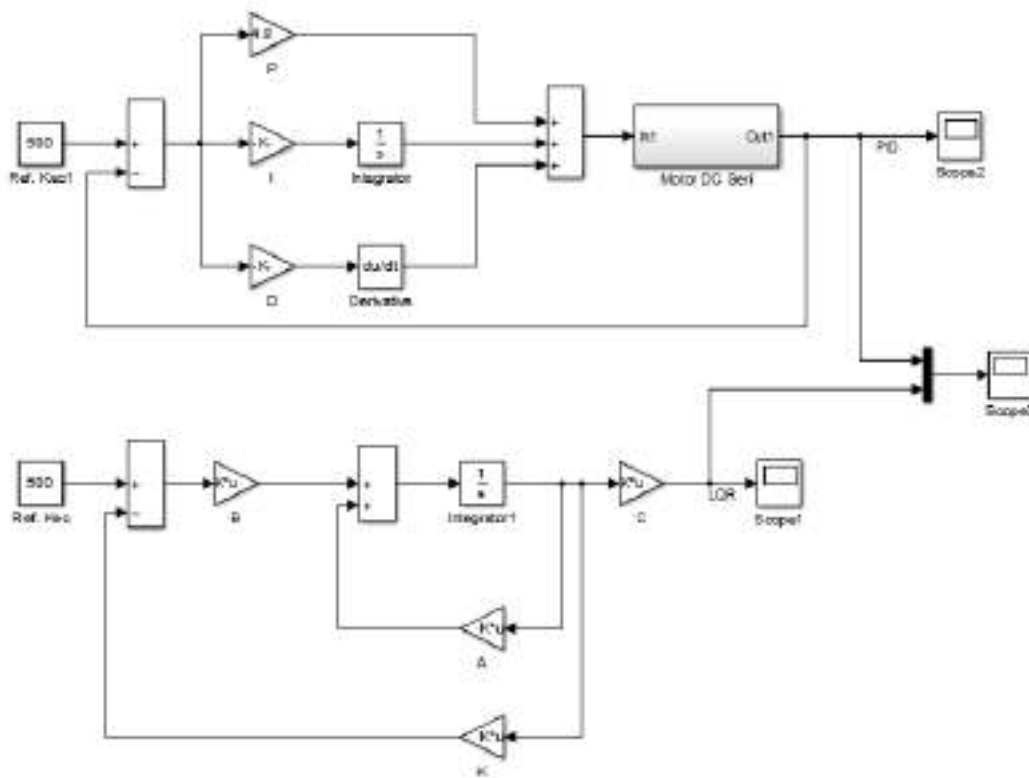
$$\pm \sqrt{0 - 4(3)(9)} S = .j 2(3) 10,4 5,2 S = \pm \sqrt{-108} . j \rightarrow S = .j \rightarrow S = 3 . j \rightarrow Wc = 6 6 1,733$$

$$rad/sec 2\pi 2\pi 6,28 Pc = = = 3,62 Wc 1,733 1,733$$

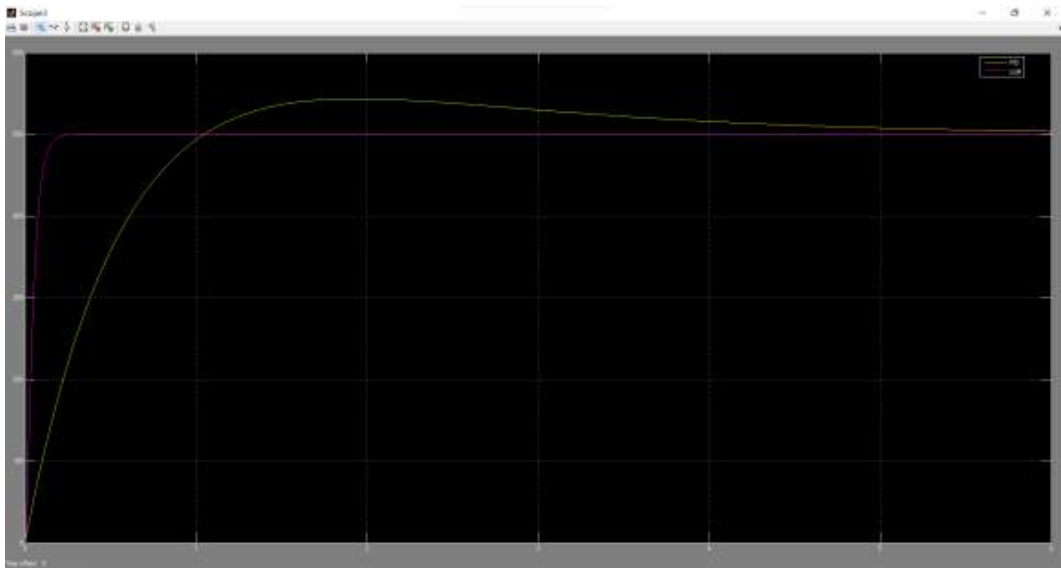
Gambar 8. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1000 rpm 3. Simulasi pada Kecepatan 1500 rpm Simulasi dilakukan dengan memasukkan kecepatan Gambar 5. Rangkaian simulasi pada kecepatan referensi sebesar 1500 rpm seperti yang terlihat pada referensi 500 rpm Gambar 9. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 500 rpm ditampilkan pada Gambar 6.

Gambar 6. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 500 rpm Gambar 9. Rangkaian simulasi pada kecepatan 2. Simulasi pada Kecepatan 1000 rpm referensi 1500 rpm Simulasi dilakukan dengan memasukkan kecepatan Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi referensi sebesar 1000 rpm seperti yang terlihat pada 1500 rpm ditampilkan pada Gambar 10. Gambar 7.

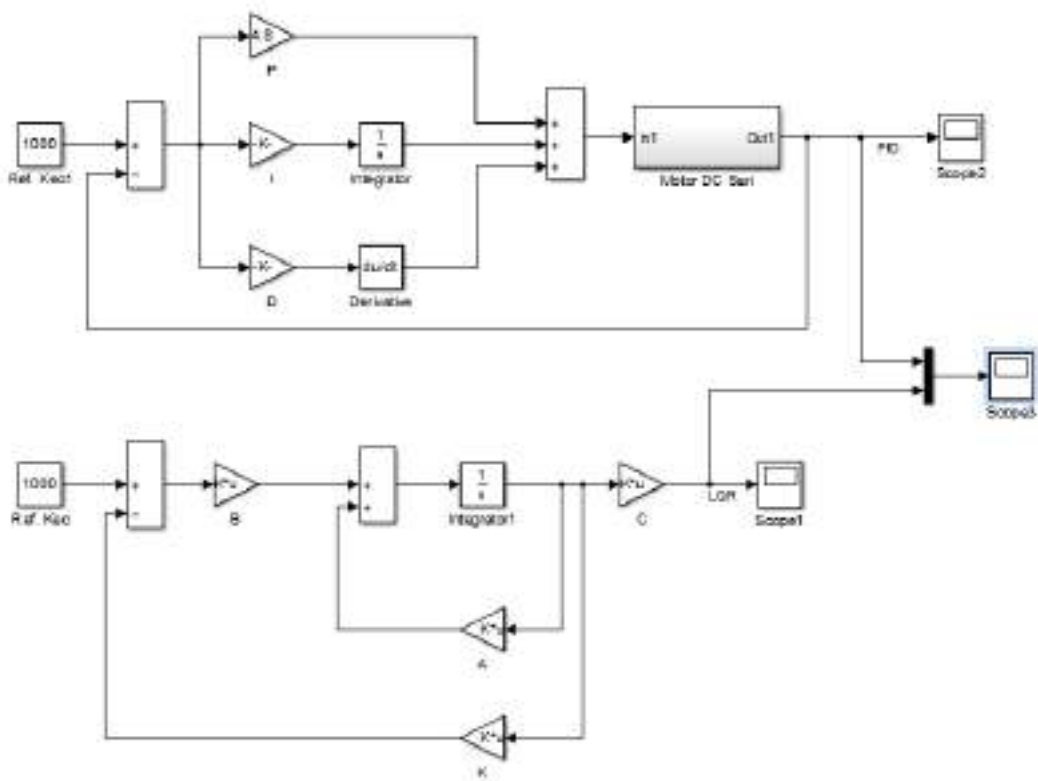
Gambar 10. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1500 rpm 4. Simulasi pada Kecepatan 2000 rpm Simulasi dilakukan dengan memasukkan kecepatan referensi sebesar 2000 rpm seperti yang terlihat pada Gambar 7. Rangkaian simulasi pada kecepatan Gambar 11. referensi 1000 rpm Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1000 rpm ditampilkan pada Gambar 8.



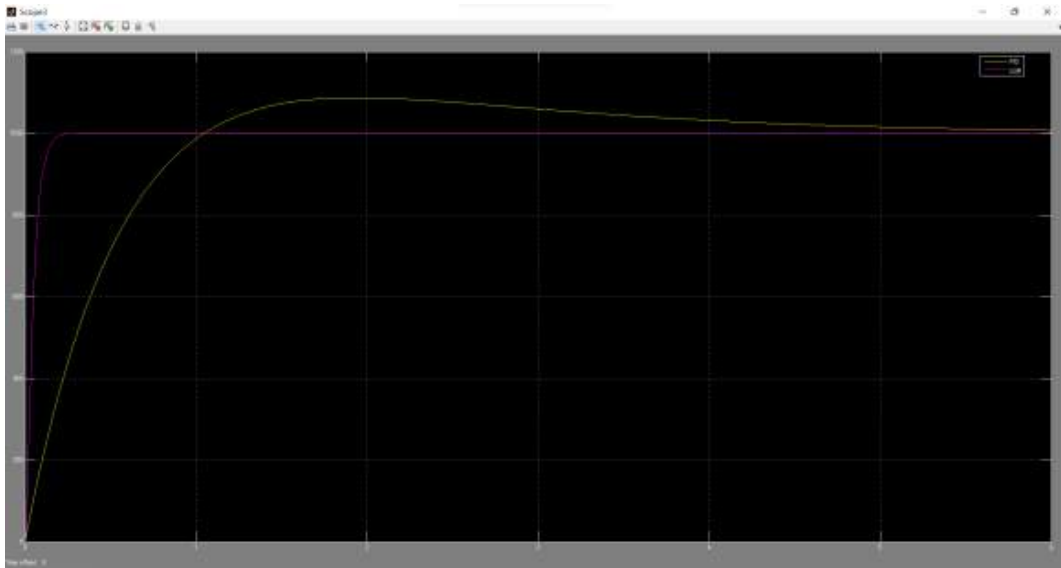
Gambar 4.5



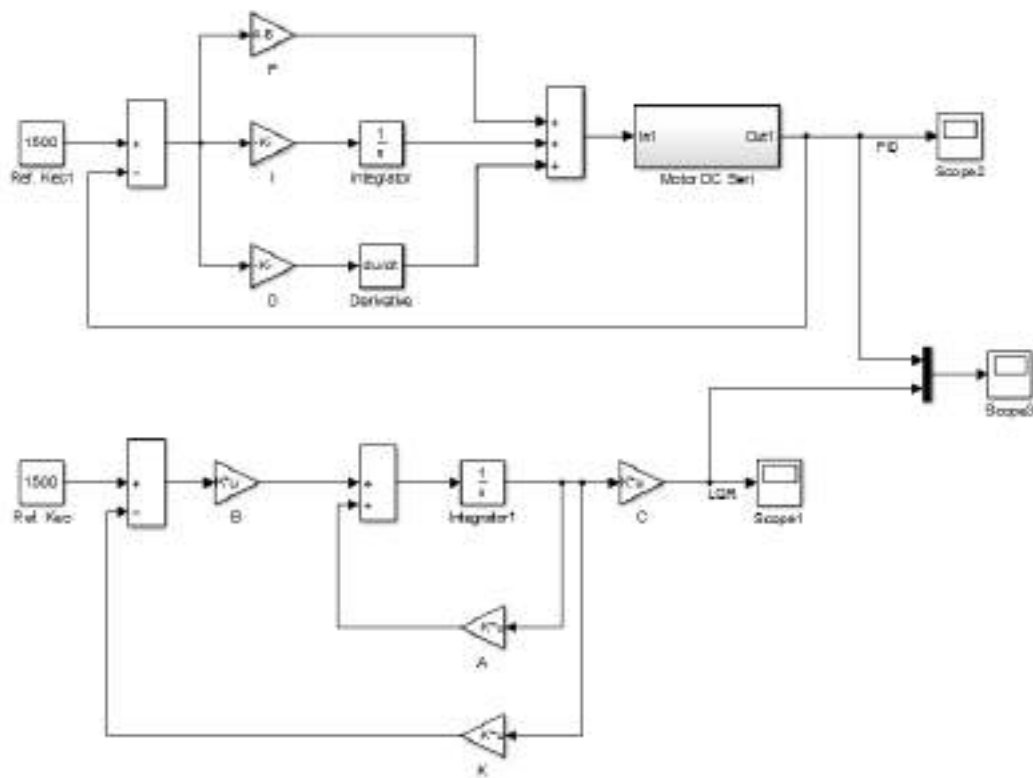
Gambar 4.6



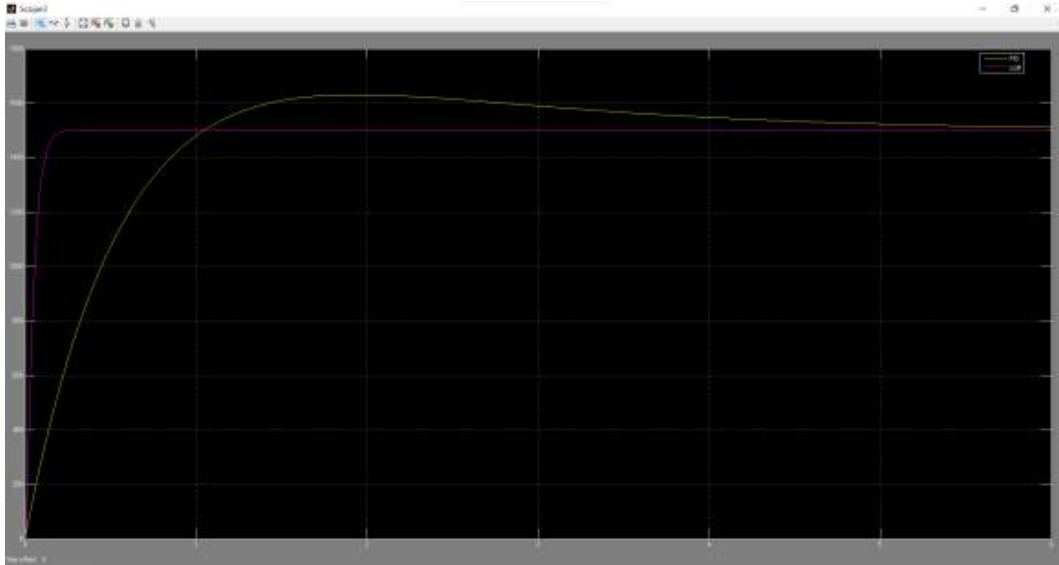
Gambar 4.7



Gambar 4.8



Gambar 4.9



Gambar 4.10

## Daftar Pustaka

- [1] Aziz, MNH, Setiyoko, AS and Nugraha, AT. "Trainer Kit Detector Fire Alarm System pada Kapal." *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 11.2, 2021, pp. 49-58.
- [2] Nugraha, AT. "PEMODELAN DAN SIMULASI OPEN LOOP SERTA CLOSE LOOP MOTOR DC TYPE 18105 ORDE 2." *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)* 10.1, 2024
- [3] Jamaludin, M, Sobhita, RA and Nugraha, AT. "Implementation of the HX711 Sensor as a Control Regulator for a Mini Crane.." *Journal of Electrical, Marine and Its Application* 3.1, 2025
- [4] Nugraha, AT, Yuniza, SI, Fathurrohman, MF, Novsyafantri, Purba, JV and .... "PENYEARAH TIDAK TERKONTROL SATU PHASA SETENGAH GELOMBANG MENGGUNAKAN MOTOR AC 1 PHASA." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 2.1, 2022, pp. 112-116.
- [5] Ruddianto, R, Nugraha, AT and Pambudi, DSA. "The experiment practical design of marine auxiliary engine monitoring and control system." *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical ...*, 2021
- [6] Nugraha, AT and Febrianti, C. "Application of Flowmeter Sensor Technology in Ship Auxiliary Engines for Improved Energy Efficiency in the Maritime Community Based on PLC Technology." *Maritime in Community Service and Empowerment* 2.2, 2024, pp. 57-63.
- [7] Rohman, YF, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Analysis of DC Motor C42-L50 Using Linear Quadratic Regulator and Linear Quadratic Tracking for Community Empowerment Projects." *Maritime in Community Service and Empowerment* 3.1, 2025
- [8] Fauzi, AR, Sobhita, RA, Nugraha, AT and Santosa, AF. "Performance of Permanent Magnet Synchronous Generator (pmsg) 3 Phase Radial Flux Results Modification of Induction Motor." *MEIN: Journal of Mechanical, Electrical &Industrial Technology* 1.2, 2024, pp. 5-11.
- [9] Hidayat, EP, Asri, P, Nugraha, AT and Agna, DIY. "PROTOTIPE SISTEM PENGENDALIAN DAN PEMANTAUAN CARGO HOLD BILGE KAPAL DENGAN METODE DECISION TREE BERBASIS MIKROKONTROLER." *Jurnal 7 Samudra* 8.2, 2023, pp. 93-108.
- [10] Wibowo, MF and Nugraha, AT. "perencanaan sistem propulsi elektrik pada fast patrol boat 28 meter." *Proceedings Conference on Marine Engineering and its Application* 6.1, 2023
- [11] Nugraha, AT, Yuniza, SI, Fathurrohman, MF, Novsyafantri, Purba, JV and .... "IMPLEMENTASI PENGATUR TEGANGAN AC SATU FASA UNTUK MENGATUR KECERAHAN LAMPU PIJAR." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 2.1, 2022, pp. 35-38.

- [12] Ivannuri, F, Subiyanto, L and Nugraha, AT. "Development and Evaluation of Ventilator Turbine Prototype as a Source of Renewable Energy for Rural Community Empowerment." *Maritime in Community Service and Empowerment* 2.1, 2024, pp. 25-31.
- [13] Lesmana, SV, Nugraha, AT, Jamaludin, M and Sobhita, RA. "Sistem Kontrol LQR dan PID pada Mesin Pengereng Biji Kopi." *Seminar MASTER PPNS 10.1*, 2025, pp. 251-261.
- [14] Prastyawan, RE and Nugraha, AT. "PENERAPAN TEKNOLOGI INFORMASI UNTUK PEMBELAJARAN TEST OF ENGLISH FOR INTERNATIONAL COMMUNICATION PREPARATION." *Jurnal Cakrawala Maritim* 5.1, 2022, pp. 4-8.
- [15] Khojim, MN, Ainudin, FH, Widiarti, Y, Nugraha, AT and Pambudi, DSA. "Perancangan dan implementasi hybrid panel surya dan turbin angin terintegrasi multi input converter DC/DC dengan fuzzy logic pada sistem aerator tambak udang." *Jurnal 7 Samudra* 8.1, 2023
- [16] Nugraha, MT Anggara Trisna and S.T. "Elektronika Daya Dan Penggerak Listrik." ID Patent EC00,202,201,816, 2022
- [17] Afi, MI, Yuniza, SI, Widiarti, Y, Nugraha, AT and Indartini, R. "RANCANG BANGUN SISTEM ALARM JAM NAVIGASI JEMBATAN BERBASIS PENGENALAN DENGAN METODE FACENET." *Jurnal 7 Samudra* 8.1, 2023
- [18] Angga, ATN, Ravi, AM, Priyambodo, D, Realdo, AM, Ivanuri, F, Safitri, LN and .... "Use of ACS 712ELC-5A current sensor on overloaded load installation safety system." *Applied Technology and Computing Science Journal* 4.1, 2021, pp. 47-55.
- [19] Nugraha, AT. "Desain kontrol path following quadcopter dengan command generator tracker model following." *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2017
- [20] Lumintang, AADC, Yuniza, SI, Hidayat, EP, Nugraha, AT and Indarti, R. "Rancang Bangun Pendeteksi Kebakaran Dini Pada Kapal Ikan Berbasis IoT Dengan Komunikasi LoRa." *Jurnal 7 Samudra* 8.1, 2023

## BAB V

### Simulasi Kontrol LQR-PID pada Cold Storage Ikan Salmon

Oleh: **Muhammad Nadhif Oka Dikmantara**

*Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*

**Kata Kunci:** *enoki mushroom, LQR, PID, cooling system*

Sistem pendingin merupakan sebuah ruangan yang digunakan untuk menjaga kesegaran pada ikan salmon karena berpengaruh pada kualitas daging dan telurnya. Oleh karena itu, diperlukan penanganan agar menjaga kesegaran pada ikan salmon. Perancangan pengendali sistem bertujuan untuk mengendalikan keluaran dari sistem sehingga keluaran yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan dengan minimum error dan mengatasi osilasi. Pada penelitian ini digunakan pengendali LQR dikarenakan pengendali ini memiliki sifat regulator kemudian dikombinasikan dengan pengendali PID yang mengendalikan keluaran sistem dengan nilai error minimum. Hasil dari pengendali LQR-PID menunjukkan bahwa pengendali berhasil dirancang dan mampu meminimalisir Error steady state sebesar 0 °C pada temperatur dan kelembaban udara relatif Error steady state sebesar 0 % serta mengatasi osilasi.

#### ABSTRACT

The cooling system is a room that is used to maintain the freshness of salmon because it affects the quality of the meat and eggs. Therefore, handling is needed in order to maintain freshness in salmon. The design of the system controller aims to control the output of the system so that the output produced is as desired with a minimum error and overcomes oscillations. In this study, the LQR controller was used because this controller has the nature of a regulator, then it is combined with a PID controller which controls the system output with a minimum error value. The results of the LQR-PID controller show that the controller is successfully designed and is able to minimize steady state error of 0 C at temperature and relative humidity steady state error of 0% and overcome oscillations.

1. PENDAHULUAN migrasi hidup salmon dibandingkan dengan ikan Ikan salmon merupakan salah satu dari sekian trout yang menetap. banyak jenis ikan yang banyak mengandung nilai gizi Salmon berasal dari jenis air tawar kemudian yang sangat bermanfaat bagi manusia. Jenis ikan ini bermigrasi ke lautan dan kembali lagi ke air tawar dapat hidup di perairan tawar dan laut, dan untuk bereproduksi. Konon dipercaya bahwa ikan merupakan salah satu hasil perikanan yang banyak salmon selalu kembali ke tempat yang sama di mana

dikonsumsi oleh masyarakat (Beritaunik, 2010). ikan salmon dilahirkan untuk berkembang biak. Menurut Chef Aida, Sushi ikan salmon paling Saat ini jumlah Populasi ikan salmon di alam liar digemari masyarakat Tanah Air karena rasanya yang terus menurun dalam, Khususnya ikan salmon lezat dan khas. Selain itu, salmon juga merupakan Atlantik yang berkembang biak di Eropa Barat dan salah satu jenis ikan yang sering disebut sebagai ikan Timur Kanada. sehat. Ikan jenis ini punya kandungan omega 3 yang Walaupun demikian, ikan salmon merupakan baik untuk tubuh. Begitu juga dengan cara salah satu ikan dengan daya simpan yang tidak terlalu mengolahnya, ikan salmon mentah segar bisa lama karna mempengaruhi kualitas daging dan langsung disantap tanpa harus diolah lebih dulu. telur nya Salmon disukai banyak orang karena lebih enak jika Daya simpan ikan salmon yang rendah dijadikan sushi, begitu juga sama kandungannya, ikan merupakan salah satu kendala dalam tingkat salmon sering dianggap menyehatkan ( Baskoro, konsumsi masyarakat. Umur simpan ikan salmon ini 2016). rendah dengan rata – rata masa penyimpanan Ikan Salmon adalah sejenis ikan laut dari kurang lebih dari 2 hari Ikan salmon dapat diawetkan famili Salmonidae. Ikan lain yang satu famili dengan dengan penyimpanan pada suhu dan kelembaban salmon adalah ikan trout. Perbedaannya adalah pada yang tepat, sehingga dapat bertahan hingga 7 hari. 1

Pengawetan ikan salmon dilakukan dengan udara relatif pada sistem ruang pendingin ikan salmon menyimpan ikan salmon pada cold storage, setelah di menghasilkan respon output tidak mengalami osilasi packing kedap udara dengan menggunakan wadah dengan error yang minimum. Maka dari uraian diatas plastik. Untuk memperpanjang umur simpan, ikan penulis melakukan penelitian dengan judul “Simulasi salmon disimpan pada suhu  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$  dengan RH 85% Kontrol LQR-PID pada mesin pendingin Ikan (Tao, et al., 2015). Penggunaan cold storage mampu salmon” menjaga suhu dan kelembaban udara reaktif secara 2. PEMBAHASAN konstan dengan menggunakan cold storage bisa Penelitian Terkait menjaga kesegaran pada sayuran. Maka dari itu Penelitian ini dilakukan untuk mencari dasar-dasar dibutuhkan pengendali terhadap suhu dan kelembaban udara pada ruang penyimpanan ikan teori dan referensi yang berkaitan dengan sistem salmon. ruang pendingin pada ikan salmon dan pengendali Penelitian untuk mengatur suhu dan kelembaban pada ikan dilakukan dengan LQR-PID. menggunakan pengendali, salah satunya Penelitian untuk mengatur suhu dan kelembaban pada menggunakan PID yang diteliti oleh Karsid dan Rofan Aziz dengan melakukan penelitian “Perancangan ikan dilakukan dengan menggunakan pengendali, Kendali PID Dengan Model Process Reaction Curve salah satunya menggunakan PID yang diteliti oleh Pada Showcase ikan”. Sistem showcase dirancang menggunakan

metode kurva reaksi proses, sedangkan Karsid dan Rofan Aziz dengan melakukan penelitian pengendali PID dengan metode kolerasi Ciancone. “Perancangan Kendali PID Dengan Model Process Dimana grafik hasil sistem hasil simulasi memiliki Reaction Curve Pada Showcase Ikan salmon”. Sistem kecendrungan keluaran sistem yang sama dengan grafik sistem nyata, tanggapan sistem juga lebih cepat showcase dirancang menggunakan metode kurva mencapai masukan, akan tetapi dengan menggunakan reaksi proses, sedangkan pengendali PID dengan pengendali PID terdapat overshoot pada keluaran sistem mencapai  $-1^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan undershoot metode kolerasi Ciancone. Dimana grafik hasil mencapai  $1^{\circ}\text{C}$  sebelum sistem mencapai kondisi sistem hasil simulasi memiliki kecendrungan tunak, sehingga masih terjadi kelemahan pada sistem showcase (Karsid, 2015). keluaran sistem yang sama dengan grafik sistem Penelitian berikutnya “Studi perbandingan nyata, tanggapan sistem juga lebih cepat mencapai model dan aplikasi kontrol on-off pada cold storage ikan”. Pada penelitian ini melakukan perbandingan masukan, akan tetapi dengan menggunakan model aplikasi kontrol on-off . hasil dari penelitian ini pengendali PID terdapat overshoot pada keluaran berupa perbandingan grafik respon sistem hasil eksperimental dan pemodelan setelah diterapkan sistem mencapai  $-1^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan undershoot kendali menunjukkan hasil yang identik atau relatif mencapai  $1^{\circ}\text{C}$  sebelum sistem mencapai kondisi sama, hal ini dapat dilihat ketika sistem mengalami keadaan tunak akan tetapi masih membutuhkan tunak, sehingga masih terjadi kelemahan pada sistem waktu yang lama untuk mencapai waktu tunak showcase. (Karsid, 2015). Penelitian ini hanya membahas perbandingan hasil keluaran dari eksperimental dan Penelitian berikutnya “ Studi perbandingan model pemodelan setelah diterapkan kontrol on-off. dan aplikasi kontrol on-off pada cold storage ikan Dari dua penelitian terkait masih menunjukkan kelemahan yaitu respon output mengalami overshoot salmon”. Pada penelitian ini melakukan dan osilasi. Maka dari itu penulis memilih perbandingan model aplikasi kontrol on-off . hasil menggunakan pengendali optimal menggunakan LQR dikarenakan memiliki sifat regulator. Regulator dari penelitian ini berupa perbandingan grafik memiliki makna sebagai tujuan pengendali agar respon sistem hasil eksperimental dan pemodelan sistem tetap konstan sehingga bisa mempertahankan setpoint. Sehingga cocok dengan sistem ruang setelah diterapkan kendali menunjukkan hasil yang pendingin ikan salmon, karena pada sistem ini akan identik atau relatif sama, hal ini dapat dilihat ketika menjaga temperatur dan kelembaban udara relatif pada setpoint yang telah ditentukan (Kardono, 2012) sistem mengalami keadaan tunak akan tetapi masih Berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai membahas pengendalian LQR dengan penambahan PID mampu menghasilkan

respon output tidak waktu tunak. Penelitian ini hanya membahas mengalami osilasi dengan error yang minimum serta perbandingan hasil keluaran dari eksperimental tidak adanya overshoot. Pada penelitian ini diharapkan dalam sistem temperatur dan kelembaban dan pemodelan setelah diterapkan kontrol on-off. 232

Penelitian selanjutnya “Desain Pengendali Optimal 2.1 Dasar Teori Linear Quadratic Regulator (LQR) Pada Sistem 2.1.1 Ikan salmon Pengendalian Temperatur di Annealing lehr Untuk Ikan salmon merupakan salah satu dari sekian banyak Proses Pembuatan jenis ikan yang banyak mengandung nilai gizi yang Kaca”.. Setelah diidentifikasi didapatkan nilai K sangat bermanfaat bagi manusia. Jenis ikan ini dapat dengan metode indeks absolute of error (IAE) hidup di perairan tawar dan laut, dan merupakan salah yang minimum pada angka 811.5 dengan satu hasil perikanan yang banyak dikonsumsi oleh pencapaian waktu akhir berdasarkan respon waktu masyarakat (Beritaunik, 2010). pada saat mencapai waktu tunak yaitu 6.4182 detik. Kendali LQR mampu mengatasi perubahan setpoint diberikan pada detik 15 dengan waktu tunaknya 20.8956 detik . Penelitian pendukung lainnya tentang LQR-PID pada penelitian posisi pada inverted pendulum juga mampu mencapai setpoint dengan minimum overshoot . Gambar 2.1 Ikan salmon (Salmonidae.) Penelitian selanjutnya “Studi Metoda Kendali Ikan Salmon kembali ke perairan air tawar dengan Linear Quadratic Regulator (LQR) dan kondisi mengalir (sungai) untuk melakukan Aplikasinya Pada Sistem Automatic Voltage perkebang biakan. Metode navigasi seperti ini Regulator. Dari hasil yang telah disimulasikan mungkin dilakukan dengan indra penciuman pada dengan Matlab didapatkan hasil respon yaitu tanpa ikan salmon. Setelah proses ini maka setengah dari metode LQR settling time 19.00812 detik, jumlah ikan salmon dewasa akan mati dalam menggunakan metode LQR settling time 0.88666 waktu beberapa hari hingga beberapa minggu detik dengan stabilizer 1.99127 detik. LQR pada setelah perkebang biakannya. Lalu sebelum ikan AVR mampu menghasilkan respon waktu yang salmon menaruh telur, maka ikan salmon betina lebih cepat . akan mengepaskan ekornya untuk menciptakan Penelitian selanjutnya tentang perancangan wilayah atau lokasi bertekanan rendah yang dapat pengendalian LQR-PID untuk mengendalikan bermanfaat untuk mengangkat kerikil agar tersapu tekanan pada modul training pressure process RIG arus air, sehingga akan menciptakan celah bagi 38-714. Hasil menggunakan LQR-PID mampu ikan salmon untuk menaruh telurnya. Satu celah menyelesaikan masalah respon waktu yang lambat saja sudah dapat menampung sekitar 5000 telur dibuktikan dengan hasil respon waktu dari 9,9936 ikan salmon, dengan kondisi menutupi area sekitar detik menjadi 0,2942 detik pada setpoint 1,875 psi . 2,8 m2. Dan Warna telur ikan salmon juga Berdasarkan penelitian terkait yang telah

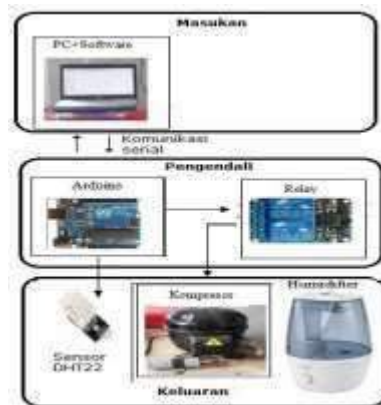
bervariasi mulai dari oranye hingga warna merah. dilakukan. Maka akan dilakukan perancangan Bahkan Satu atau lebih ikan salmon jantan akan kendali optimal LQR dengan penambahan PID mulai mendekati ikan salmon betina dan juga akan untuk menghasilkan respon output yang tidak mengeluarkan spermanya ke air untuk dapat mengalami osilasi dengan error yang minimum membuahi telur. Salmon betina lalu menutupi serta tidak adanya overshoot. telur-telurnya dengan menyapu kerikil lalu pergi bertelur di tempat lain. Ikan Salmon betina juga dapat melakukannya sebanyak kurang lebih tujuh

kali sebelum telur dalam ovarium ikan salmon Sedikit intensitas cahaya matahari yang diterima telah habis. Maka ikan salmon akan mati kelelahan ruangan cukup tinggi, begitu juga sebaliknya segera setelah selesai bertelur. apabila semakin rendah suhu ruang penyimpanan maka kelembaban udara pada ruang penyimpanan 2.1.2 Faktor yang mempengaruhi suhu dan semakin tinggi yang disebabkan oleh aktivitas air kelembaban dalam udara tinggi dan intensitas cahaya matahari 1. Faktor yang mempengaruhi suhu yang diterima gudang sangat sedikit. Dari ketiga a. Lamanya Penyinaran Matahari ulangan tersebut terlihat pada pagi dan malam hari Semakin lama matahari memancarkan sinarnya mengalami kenaikan kelembaban udara yang disuatu daerah, makin banyak panas yang diterima. tinggi yakni berkisar 90-95%, dan pada siang hari Keadaan atmosfer yang cerah sepanjang hari akan mengalami kelembaban udara 77-83%. lebih panas daripada jika hari itu berawan sejak pagi . 2.1.3 Sistem Pendingin Sistem pendingin merupakan sebuah ruangan yang akan dirancang dengan suhu tertentu den b. Kemiringan Sinar Matahari digunakan sebagai media penyimpan berbagai Suatu tempat yang posisi matahari berada tegak macam produk dengan tujuan mempertahankan lurus di atasnya, maka radiasi matahari yang kesegaran. Variable yang terlibat dalam diberikan akan lebih besar dan suhu ditempat pengendalian adalah temperatur dan kelembaban, tersebut akan tinggi, dibandingkan dengan tempat komponen yang bertugas dalam pengendalian yang posisi mataharinya lebih miring . adalah computer dan arduino dan yang menjadi c. Keadaan Awan actuator adalah kompresor dan humidifier. Sensor Adaya awan di atmosfer akan menyebabkan DHT22 merupakan sensor suhu dan kelembaban berkurangnya radiasi matahari yang diterima di yang akan ditambahkan sebagai umpan balik dari permukaan bumi. Karena radiasi yang mengenai sistem . awan, oleh uap air yang ada di dalam awan akan dipancarkan, dipantulkan, dan diserap . d. Keadaan Permukaan Bumi Perbedaan sifat darat dan laut akan mempengaruhi penyerapan dan pemantulan radiasi matahari. Permukaan darat akan lebih cepat menerima dan melepaskan panas m energy radiasi matahari yang diterima dipermukaan bumi dan akibatnya menyebabkan perbedaan suhu udara di atasnya .

2. Faktor yang mempengaruhi kelembaban Gambar 2.2 Sistem Pendingin Ikan salmon Kelembaban udara ruangan dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan, semakin tinggi suhu ruang penyimpanan maka kelembaban udara pada ruang Pengendalian melibatkan komponen arduino uno

penyimpanan tersebut akan menjadi rendah karena sebagai central processing unit dan modul relay

aktivitas air dalam udara . untuk mengendalikan aktuator. Adapun aktuator



Gambar 5.1

yang digunakan adalah kompresor untuk : time constat sistem temperatur kompensasi temperatur dan humidifier untuk : time constat sistem kelembaban kompensasi kelembaban udara. Pengumpulan data dilakukan dengan mencari beberapa penelitian terkait guna untuk memperoleh komput komputer setpoint yaitu sebesar 5 °C untuk temperatur dan +/- Relay setpoint kelembaban udara relatif sebesar 85 %. Dari +Arduin er +humidif sistem dan mencari beberapa variabel yang o er diperkukan dalam pemodelan matematis sistem dengan menggunakan pemodelan sistem pendingin. Dalam penelitian ini, terdapat perancangan pengendali LQR dan PID dengan bahasan sebagai Sensor berikut. 2.2.Perancangan Pengendali LQR DHT22 2.1.1 Perancangan Pengendali LQR Temperatur Gambar 2.3 Diagram Blok Sistem. pada Sistem Ruang Pendingin Ikan salmon Pengendalian akan berjalan dengan baik jika 2.1.2 Perancangan Pengendali LQR dilakukan perancangan dan simulasi sebelum Kelembabab Udara Relatif pada Sistem diterapkan pada sistem fisik. Sistem yang terlibat Ruang Pendingin Ikan salmon

pada pengendalian proses pengawetan ikan salmon 2.3 Perancangan Pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 2.4 dimana Gt(s) 2.2.1 Perancangan Pengendali PID temperature pada system ruang pendingin ikan salmon adalah sistem yang melibatkan variabel temperatur 2.2.2 Perancangan Pengendali PID Kelembaban dan Gr(s) merupakan sistem

yang melibatkan udara pada system ruang pendingin ikan variabel kelembaban udara. salmon

#### 2.4 Tabel 2.4.1 Spesifikasi Sistem Pendingin

Ukuran (p x l x t) 63, 5 x 56, 5 Gambar 2.4 Diagram Blok Sistem Pendingin Ikan salmon Kapasitas 120 liter

Keterangan : Tegangan 220 V/50 Hz Tin : Temperatur masukan Gas Pendingin R-134A Tout : Temperatur keluaran RHin : Kelembaban udara masukan Daya Listrik 90 W RHout : Kelembaban udara keluaran Berat Bersih 28 Kg Gt(s) : Sistem temperatur Kompresor ¼P Gr(s) : Sistem kelembaban udara

(2.1) (2.2) Tabel 2.4.2 Spesifikasi Sistem Kelembaban[10] K1 : Penguatan sistem temperatur Noise 35 dB

K2 : Penguatan sistem kelembaban Kapasitas 2,5 Ltr : waktu tunda sistem temperatur Tegangan 220 V/50 Hz : waktu tunda sistem kelembaban

Water (mist) flow 250 ml/h

Gas Pendingin R-134A

Tegangan 20 W

Dimension 220 V/50 Hz

Daya Listrik 193x193x323 mm

#### 2.5 Gambar

Gambar 3.10 Tampilan M-File Pada Kelembaban Sistem Pendingin Ikan salmon

3. KESIMPULAN Gambar 2.5.1. Ikan salmon 4. Berdasarkan simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan maka dapat kesimpulan bahwa pengendali LQR untuk pengendalian temperatur dan kelembaban udara relatif pada sistem pendingin ikan salmon didapatkan nilai error steady state sebesar 4.905 °C dan 39.28 %. Setelah Gambar 2.5.2 Sistem Pendingin Ikan salmon dilakukan hybrid pengendali LQR-PID, pada sistem ruang pendingin ikan salmon dalam mengendalikan temperatur didapatkan nilai error steady state sebesar 0 °C dan pada sistem ruang pendingin ikan salmon dalam mengendalikan kelembaban udara relatif didapatkan nilai error steady state sebesar 0 % .

#### DAFTAR PUSTAKA

Gambar 2.5.3 Tampilan M-File Pada Temperatur Kardono. 2012. Perancangan dan Implementasi Sistem Pendingin Ikan salmon Sistem Pengaturan Optimal LQR Untuk

Menjaga Kestabilan Hover Pada Quadcopter. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November.

Karsid, Aziz Rofan. 2015. Perancangan Kendali PID Dengan Model Process Reaction Curve Pada Showcase Jamur. Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu

Karsid, Aziz Rofan. 2015. Studi Perbandingan Model Dan Aplikasi Kontrol On-Off Pada Cold Storage 236

```
kelembaban.m  LQR.m*  +
1 - A=[-0.000476];
2 - B=[-0.00483];
3 - C=[1];
4 - D=[0];
5 - R=[1];
6 - Q=[0.1];
7 - N=[0];
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
```

Gambar 5.2

```
Editor - D:\KULIAH\semester 7\TA\kelemb
kelembaban.m  LQR.m  +
1 - A=[-0.00395];
2 - B=[-0.00169];
3 - C=[1];
4 - D=[0];
5 - R=[1];
6 - Q=[100];
7 - N=[0];
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
```

Gambar 5.3



Gambar 5.4

## Daftar Pustaka

- [1] Ivannuri, F, Subiyanto, L and Nugraha, AT. "Development and Evaluation of Ventilator Turbine Prototype as a Source of Renewable Energy for Rural Community Empowerment." *Maritime in Community Service and Empowerment* 2.1, 2024, pp. 25-31.
- [2] Dermawan, D, Yuniza, SI, Septiandi, IN and Nugraha, AT. "Penyearah Setengah Gelombang 3 Fasa Tak Terkendali dari Generator AC 3 Fasa." *Seminar MASTER PPNS 8.1*, 2023, pp. 244-251.
- [3] Saputra, FY. "Representasi Matematis dan Simulasi Sistem Dinamik Motor DC054B-6." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 4.1, 2025
- [4] Nugraha, AT and Priyambodo, D. "Design of a monitoring system for hydroganics based on arduino uno R3 to realize sustainable development goals number 2 zero hunger." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics ...*, 2021
- [5] Eviningsih, RP, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Optimization of Application Control Using LQR and LQT Approaches: A Study on Community-Based Development Programs." *Maritime in Community Service and Empowerment* 1.1, 2023, pp. 9-17.
- [6] Ningsih, SR, Budi, AHS, Nugraha, AT and Winata, T. "Automatic farmer pest repellent with Arduino ATmega2560 based on sound displacement technique." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 850.1, 2020, p. 12034.
- [7] Haj, MI and Nugraha, AT. "Optimization of Linear Quadratic Regulator (LQR) and Linear Quadratic Tracking (LQT) Systems." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1, 2025, pp. 1-9.
- [8] Rafsanjani, E, Pudji, A, Indrato, TB, Yan, S and Bogavev, SA. "A Modified Electrosurgery Unit Based on High Frequency Design with Monopolar and Bipolar Method." *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical ...*, 2021
- [9] Zaldi, HF, Subiyanto, L and Nugraha, AT. "Sistem Monitoring Pengujian Tekanan pada Pipa Air PVC Berbasis Arduino dan IoT." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 11.2, 2021, pp. 40-48.
- [10] Nugraha, AT, Firdaus, AA, Sobhita, RA and Wicaksono, Z. "System Optimization Using LQR and LQT Methods on 42D29Y401 DC Motor." *SAINSTECH NUSANTARA* 2.2, 2025, pp. 14-25.
- [11] Dharmawan, AD, Subiyanto, L and Nugraha, AT. "Implementasi sistem monitoring pada panel listrik." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 12.2, 2022, pp. 82-91.
- [12] Ivannuri, F, Nugraha, AT and Subiyanto, L. "Prototype Turbin Ventilator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin." *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication (COMPLETE)* 3.2, 2022
- [13] Nugraha, AT. "Penggunaan Algoritma Interferensi Dan Observasi Pada Sistem Pelacak Titik Daya Maksimum Pada Sel Surya Menggunakan Konverter DC-DC Photovoltaics." *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi* 1.1, 2021, pp. 10-19.
- [14] Putra, MDH. "Rancang Bangun Battery Charger Dengan Sistem Constant Voltage Berbasis Kontrol Pi." *Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, 2021
- [15] Budi, FS, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Comparison of LQR and LQT Control of Uncertain Nonlinear Systems." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1, 2025, pp. 10-17.
- [16] Eviningsih, RP, Efendi, MZ, Windarko, NA, Nugraha, AT, Prasetya, FD and .... "MPPT Algorithm Based on Zebra Optimization Algorithm for Solar Panels System with Partial Shading Conditions." *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical ...*, 2024
- [17] Nugraha, AT and Haritman, E. "Development of remote laboratory based on HTML5." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 850.1, 2020, p. 12017.
- [18] Nugraha, AT, Yuniza, SI, Fathurrohman, MF, Novsyafantri, Purba, JV and .... "IMPLEMENTASI SINGLE PHASE FULL WAVE CONTROLLED RECTIFIER PADA

- MOTOR DC." Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application 2.1, 2022, pp. 117-122.
- [19] Utomo, AP, Ruddianto, Cahyono, L, Nugraha, AT, Apriani, M and Nugroho, MI. "Buku Pelatihan Pembuatan Terumbu Buatan Berbasis Eco Friendly.", 2024
- [20] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Agna, DIY, Ashlah, MB, Fathurrohman, MF and .... "Analisis Optimalisasi Penggunaan Konverter CUK Pada PLTA Menggunakan Simulasi Proteus." Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application 3.1, 2023, pp. 62-67.

## BAB VI

### Kajian Kinerja Motor DC 110BLF01 dengan Linear Quadratic Regulator (LQR) sebagai Kontroler

Oleh: **Muhammad Rizki Abdul Aziz**

*Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*

**Kata Kunci:** Motor DC, Pemodelan, Orde dan Matematis

*The purpose of this paper is to provide current and angular speed characteristics of the dc motor supply of alternating current (AC) power using Simulink-MATLAB. Models of mathematical parameters. DC motors have equipment in the form of laplace used to transfer variable input and output functionon. The AC voltage source is converted into direct current (DC) voltage with a bridge diode. The rectifier output is a positive value for the period with the freewheeling diode used in inductive loads. The motor model is represented by a controller block in the simulink toolbox in the matlab program and gives the sine source in series in the absolute block. The result of the study is the characteristic curve of the armature current and speed of the saft motor. This curve shows a temporary and stable condition, a temporary period of 1.5 seconds and a temporary is undermined. The smooth supply of air conditioning is built ripples on the current haunted and speed saft. Optimal targets are gradually approached through constant literacy. At the same time, the speed regulator based on the improved 1st order & 2nd order is compared to the traditional method. The simulation results show that the improved DC motor speed control system has stronger resistance and faster response speed the advantages and feasibility of the improved speed regulator are verified.*

#### **Abstrak**

Bertujuan agar paper ini memberikan karakteristik kecepatan arus dan sudut dari suplai motor dc daya arus bolak-balik (AC) menggunakan Simulink-MATLAB. Model parameter matematika. Motor DC memiliki peralatan dalam bentuk laplace digunakan untuk mentransfer variabel input dan output fungsion. Sumber tegangan AC diubah menjadi tegangan arus searah (DC) dengan dioda jembatan. Keluaran penyearah adalah nilai positif untuk periode dengan dioda freewheeling yang digunakan dalam beban induktif. Model motor diwakili oleh blok pengontrol di kotak peralatan simulink di program matlab dan berikan sumber sinus secara seri di blok absolut. Hasil penelitian adalah kurva karakteristik arus angker dan kecepatan motor saft. Kurva ini menunjukkan kondisi sementara dan stabil,

periode sementara 1,5 detik dan sementara adalah dirusak. Kelancaran pasokan AC dibangun riak pada angker saat ini dan kecepatan saft. Target optimal secara bertahap didekati melalui literasi konstan. Pada saat yang sama, pengatur kecepatan berdasarkan orde 1 & orde 2 yang ditingkatkan dibandingkan dengan metode tradisional. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem kontrol kecepatan motor DC yang ditingkatkan memiliki ketahanan yang lebih kuat dan kecepatan respon yang lebih cepat keunggulan dan kelayakan regulator kecepatan yang ditingkatkan diverifikasi.

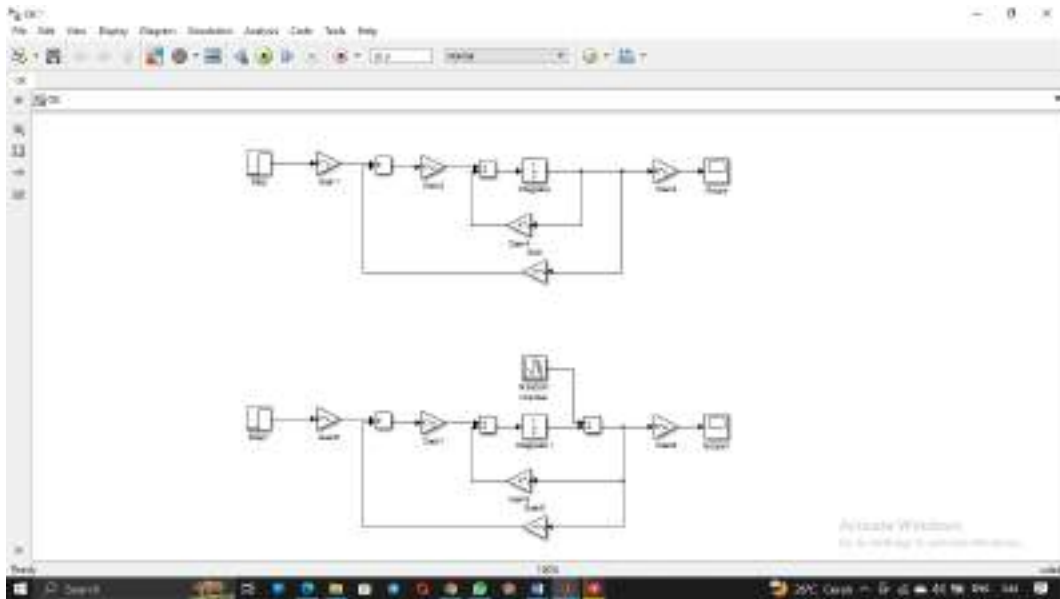
## **PENDAHULUAN**

Kemajuan teknologi saat ini begitu pesat sehingga mempengaruhi setiap aspek kehidupan kita. Tidak dapat disangkal bahwa permintaan akan teknologi jauh lebih tinggi daripada beberapa dekade yang lalu. Salah satu akibatnya adalah persaingan global, khususnya di bidang otomasi. Beberapa pelaku industri sedang membangun atau meningkatkan sistem dalam industri mereka untuk menghasilkan produk yang lebih baik daripada pesaing mereka. Beberapa orang dalam industri telah mencatat kecepatan di mana produk diproduksi. Salah satu efeknya adalah motor listrik. Kebutuhan akan motor listrik merupakan kebutuhan mendasar untuk memajukan industri. Permintaan perkiraan untuk motor listrik global akan meningkat sebesar 6,5% setiap tahun. Wilayah Asia/Pasifik dengan penjualan tertinggi. Data ini menunjukkan bahwa motor listrik termasuk motor DC, berperan penting dalam kecepatan dan kualitas produksi. Namun, pengaturan nilai torsi seringkali sulit dilakukan saat menggunakan motor DC di lingkungan industri. Peneliti juga menjelaskan bahwa variabel torsi motor DC sulit diukur, sehingga hanya perkiraan variabel torsi yang dapat ditemukan. Motor arus searah (DC) adalah mesin listrik yang ditenagai oleh sumber tegangan DC. Salah satu contoh kecil alat yang menggunakan aplikasi optimasi sistem adalah motor DC. Motor DC adalah aktuator yang sering digunakan di dalam bidang industri. Seiring perkembangan zaman dan kemajuan sektor teknologi, permasalahan di dunia industry sering muncul tentang ketidak stabilan dari kecepatan motor DC. Penggunaan sistem kendali dalam motor DC sangatlah penting, terutama pengaturan kecepatan pada motor DC. Suatu sistem kendali motor DC harus mempunyai ketahanan terhadap gangguan dan mempunyai respon yang cepat dan akurat. Pengembangan motor DC kinerja tinggi sangat penting tidak hanya dalam industri, tetapi juga untuk keperluan lain seperti alat tenun, crane, elevator, pengering rambut, penyedot debu dan mesin jahit. Pada umumnya motor DC berdaya tinggi memiliki kecepatan tinggi dan torsi besar, sehingga dapat digunakan dan diterapkan pada berbagai aplikasi yang membutuhkan daya tinggi. Motor DC banyak

digunakan karena kesederhanaannya, kemudahan penggunaan, keandalan yang tinggi, fleksibilitas, dan biaya yang relatif rendah. Motor DC telah lama menjadi komponen kunci dalam aplikasi industri, manipulator robot, dan elektronik konsumen di mana kontrol kecepatan sangat penting.

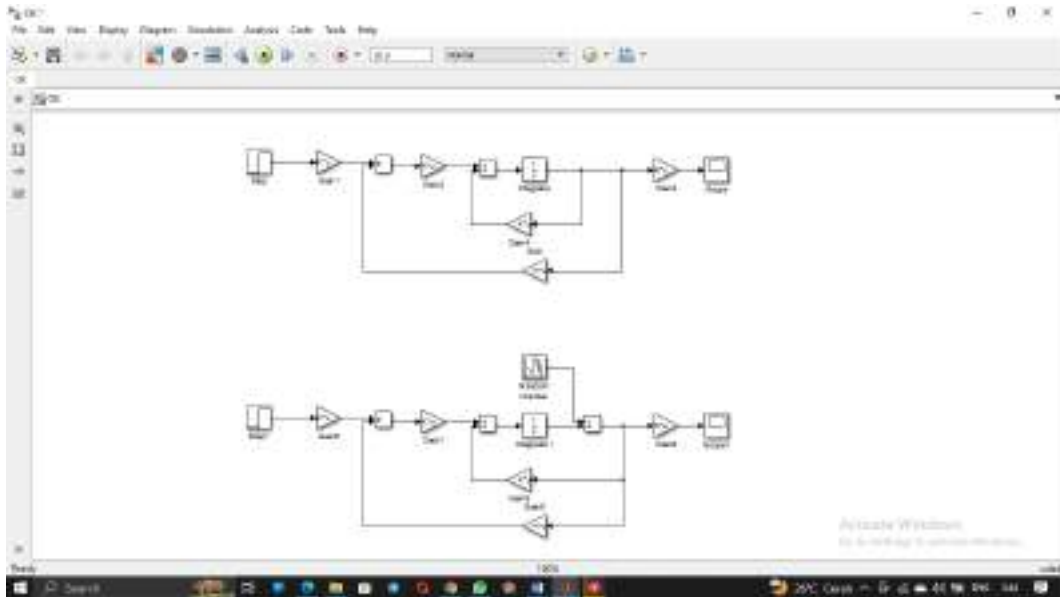
## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Metodologi Simulink Matlab



Gambar 6.1

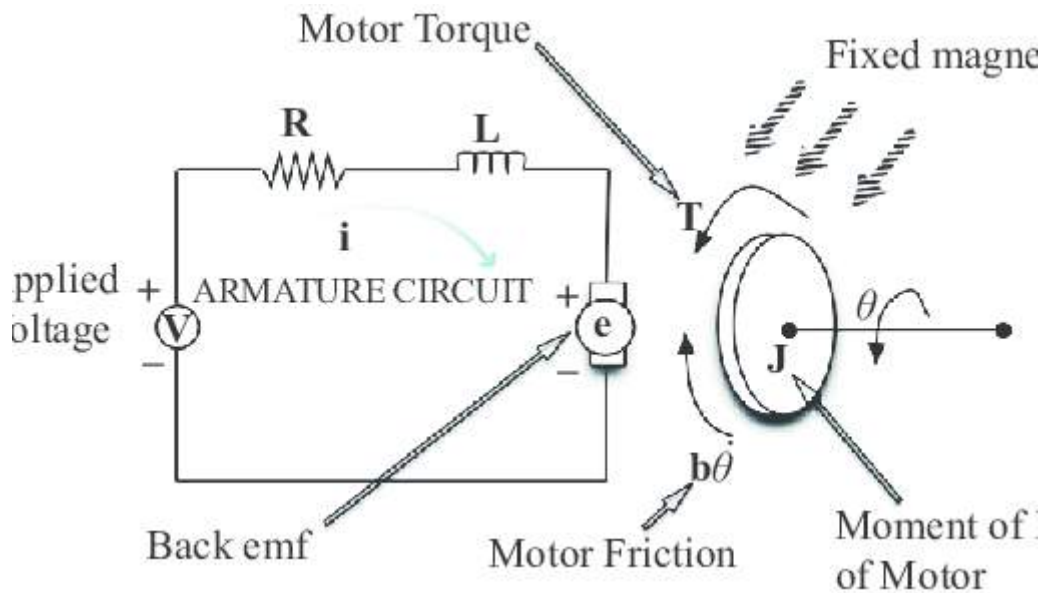
Simulink merupakan salah satu komponen MATLAB yang berfungsi sebagai alat bantu pemrograman grafis. Penggunaan utama Simulink adalah untuk membuat simulasi sistem dinamis. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan bagan fungsi yang berisi blok-blok ekuikoneksi dengan fungsinya masing-masing. Simulink dapat digunakan sebagai alat untuk pemodelan, simulasi, dan analisis dinamika sistem menggunakan antarmuka pengguna grafis. Simulink terdiri dari beberapa toolbox yang dapat Anda gunakan untuk menganalisis sistem linier dan non-linier. Perpustakaan yang biasa digunakan dalam sistem kontrol termasuk math, sink, dan sources. Sebelum melakukan penelitian, penulis terlebih dahulu mengidentifikasi masalah kontrol posisi rawan kesalahan pada sistem untuk memastikan tetap pada posisi yang diinginkan. Oleh karena itu, diperlukan rencana untuk melakukan penelitian ini berdasarkan harapan awal. Karena perencanaan penelitian ini melibatkan penentuan judul percobaan tanaman untuk tujuan penelitian yang diinginkan, beberapa langkah perencanaan harus dilakukan. Gambar 1 Model SISO Motor DC dengan LQR



Gambar 6.2

## 2.2 Motor DC

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/direct unidirectional. Motor DC adalah piranti elektronik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerak rotasi. Pada motor DC terdapat jangkar dengan satu atau lebih kumparan terpisah. Tiap kumparan berujung pada cincin belah (komutator). Dengan adanya insulator antara komutator, cincin belah dapat berperan sebagai saklar kutub ganda (double pole, double throw switch). Motor DC bekerja berdasarkan prinsip gaya Lorentz, yang menyatakan ketika sebuah konduktor beraliran arus diletakkan dalam medan magnet, maka sebuah gaya (yang dikenal dengan gaya Lorentz) akan tercipta secara ortogonal diantara arah medan magnet dan arah aliran arus. Kecepatan putar motor DC ( $N$ ).



Gambar 6.3

Gambar 3 Schematic Diagram Motor DC

(Sumber: KMUTNB Int J Appl Sci Technol, Vol. 9, No. 4, pp. 243-253, 2016)

Gambar 6.4

### 2.3 Orde 1 dan Orde 2

Dari model matematis sebuah sistem, orde dari suatu sistem dapat dilihat dari besar pangkat variabel  $s$  (dalam transformasi Laplace). Suatu sistem dikatakan ber-orde satu jika fungsi alihnya mempunyai variabel  $s$  dengan pangkat tertinggi satu. Bentuk fisisnya bisa berupa rangkaian listrik RC, sistem termal, atau sistem lainnya (Ogata, 2010). Model sistem orde satu dan dua secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

Orde satu

$$C(s)R(s) = K\tau s + K \quad (1)$$

Keterangan:

$C(s)$  = Output sistem

$R(s)$  = Input sistem

$K$  = Konstanta

= Rated Torque (Nm)

**Orde dua**

$$C(s)R(s) = Kt.KeJs + BR + Ls + Kt.Ke \quad (2)$$

Keterangan:

$C(s)$ = *Output* sistem

$R(s)$ = *Input* sistem

$K_t$ = Konstanta torsi

$K_e$ = Konstanta tegangan

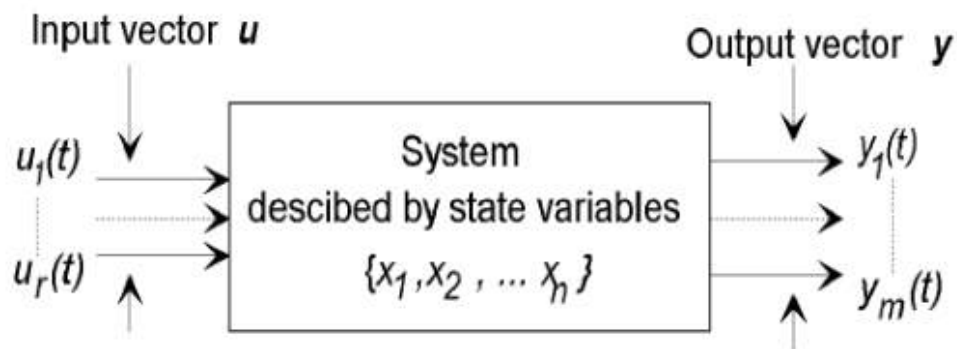
$J$ = rotor *inertia*

$B$ = Konstanta gaya gesek  $L_s$ = *inductance*

$R$ = hambatan *Armatur*

## 2.4 State-Space

*State-space* merupakan metode analisis untuk sebuah sistem kendali yang kompleks. Metode ini digunakan untuk menganalisa sistem kendali dengan Satu *Input* dan satu *Output* atau disebut SISO (Single Inputs and Single Outputs). Pada model *state-space* keadaan internal ( $x$ ) dari sistem digunakan untuk memprediksi output ( $t$ ). sehingga  $y$  tidak lagi bergantung hanya pada input sistem tetapi juga pada keadaan internal sistem. Sistem *input* dan *output* pada *state-space* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 6.5

## Gambar 4 Sistem Input dan Output pada State-Space (Sumber : Ogata, 2010)

Gambar 6.6 Sistem Input dan Output pada State-Space(

Model *state-space* dituliskan sebagaiberikut (Ogata, 2010):

$$\dot{x}t = At xt + Bt u(t) \tag{3}$$

$$yt = Ct xt + Dt u(t) \tag{4}$$

Keterangan :

$A(t)$ = Matrix state

$B(t)$ = Matrix input

$C(t)$ = Matrix output

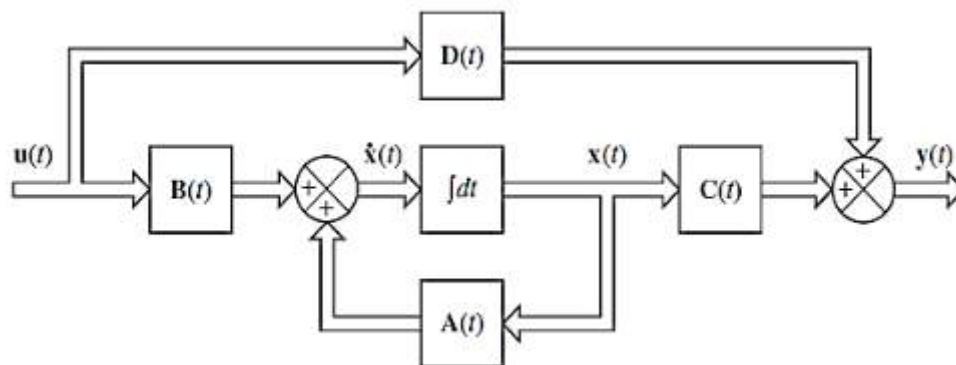
$D(t)$ = Matrix direct-transmission

$u(t)$ = Input system

$x(t)$ = State system

$y(t)$ = Output System

$\dot{x}(t)$ = Differential



Gambar 6.7

## Gambar 5 Diagram Blok State-space (Sumber : Ogata, 2010)

Gambar 6.8

Diagram blok state-space ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 5 Diagram Blok State-space (Sumber : Ogata, 2010)

### 2.5 Linear Quadratic Regulator

Pada desain LQR dengan menggunakan persamaan memiliki rumusan cost function sebagai berikut:

$$J = \int_0^{\infty} x^T Q x + u^T R u dt \quad (5)$$

Keterangan :

J= Costfunction

Q= Faktor pembobotan state (matrix semi definite positif)

R= Bobotfaktor variabel kontrol (matrix definit positif)

[ ]<sup>T</sup>= Transpose

Untuk desain pengendali LQR, Langkah pertama adalah memilih matriks bobot nilai Q dan R. Masukkan R lebih berat daripada state sementara ketika nilai bobot Q state lebih dari input. Kemudian umpan balik K dapat dihitung dan respon loop sistem tertutup dapat ditemukan dengan simulasi.

Rumus pengendali LQR sebagai berikut :

$$U = -Kx \tag{6}$$

Keterangan:

K= Gain Feedback

Dari indeks persamaan state space sistem dan indeks performansi didapat nilai matriks K yang optimal untuk indeks performansi dengan rumus sebagai berikut:

$$K = R^{-1} B^T P \tag{7}$$

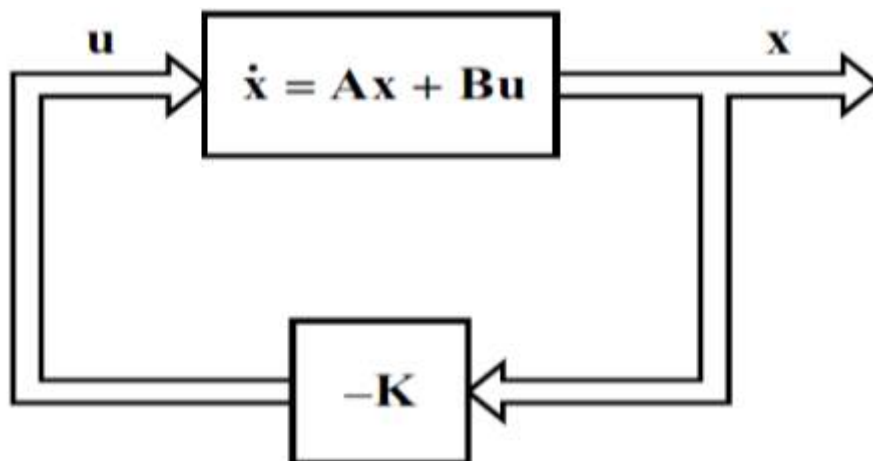
Keterangan:

P= Variable Algebraic Riccati Equation (ARE)

[ ]<sup>-1</sup>= Invers

Persamaan Algebraic Riccati Equation (ARE) untuk mendapatkan nilai P sebagai berikut:

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0 \tag{8}$$



Gambar 6.9

Dalam perancangan teknik kontrol optimal Linear Quadratic Regulator (LQR), setelah matriks P diketahui maka nilai P tersebut disubstitusikan kedalam Persamaan sehingga didapatkan nilai matriks optimal K. Diagram blok pengendali LQR ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 6 Diagram Blok Pengendali LQR (Sumber: Ogata, 2010)

Permasalahan yang ditemui dalam bidang kendali yaitu tidak hanya menyetabilkan system, tetapi bagaimana keluaran system mengikuti perubahan setpoint atau referensi yang ditentukan. Dalam hal ini jika diinginkan keluaran plant(x) sama dengan input referensi maka perlu dirancang sistemnya menggunakan *setpoint tracking* (Khijwania, 2012). Dari persamaan tanpa pengendali *setpoint*, maka didapatkan bentuk umum rumus kendali *setpoint tracking* sebagai berikut:

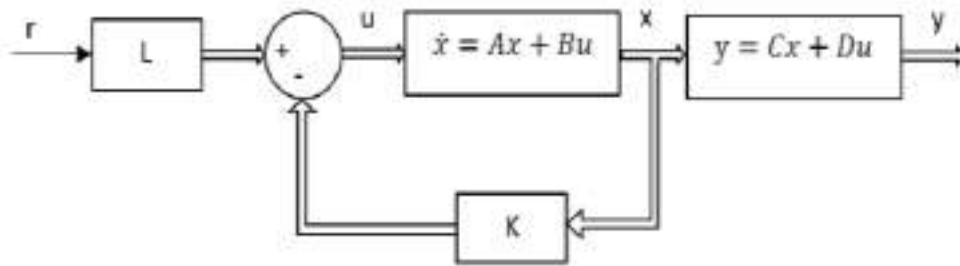
$$U = -kx + Lr \tag{9}$$

Keterangan :

L = Gain setpoint tracking

Dengan rumus L sebagai berikut :

$$L = (-CA - BK - IB)^{-1} \tag{10}$$



Gambar 6.10

Gambar 7 Diagram Blok Pengendali LQR dengan Setpoint Tracking

Gambar 6.11

Diagram blok pengendali LQR ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar 7 Diagram Blok Pengendali LQR dengan Setpoint Tracking (Sumber : Khijwania, 2012)

### 2.6 Linear Quadratic Tracker

LQT merupakan sistem pengaturan linear yang output sistem mengikuti referensi (trajectory) yang diinginkan. Suatu sistem mempunyai persamaan state

$$\dot{e}t = zt - y(t) \tag{11}$$

Di mana  $e(t)$  merupakan error yang merupakan selisih antara input referensi yang diberikan  $z(t)$  dan output dari sistem  $y(t)$ . Indeks performansi didefinisikan pada Persamaan (2.11)

$$J = \int_0^T e^{A'(t)} F(t) e^{A(t)} dt + \int_0^T e^{A'(t)} Q(t) e^{A(t)} dt + \int_0^T u'(t) R(t) u(t) dt \quad (12)$$

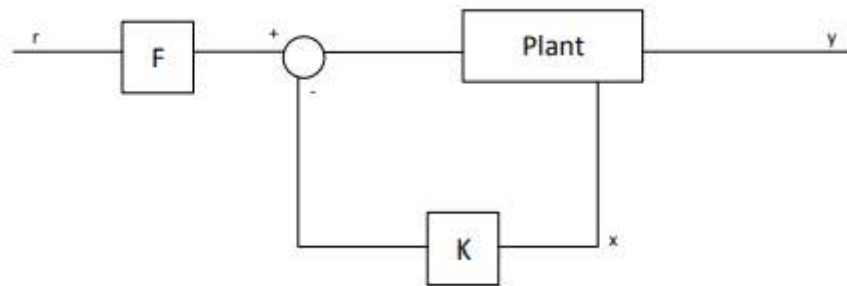
Diasumsikan  $F(t)$  dan  $Q(t)$  adalah skalar atau matriks semidefinit positif yang simetris dengan dimensi  $(m \times m)$ ,  $R(t)$  adalah matriks definit positif yang juga simetris  $(R \times R)$  matrix  $Q$  dan  $R$  adalah matriks pembobot yang menentukan kinerja dari sistem yang akan dikontrol. Setelah mendapatkan model matematika sistem dalam bentuk state-space dan matriks  $A(t)$  dan  $B(t)$ , matriks penyelesaian persamaan differential Riccati dapat didapatkan dengan  $P(t)$  untuk finite-time case dan  $0$  untuk *infinite-time case*.

$$P(t) = -P(t)A(t) - A'(t)P(t) + P(t)B(t)R^{-1}(t)B'(t)P(t) + C'(t)Q(t)C(t) \quad (13)$$

$$0 = -P(t)A(t) - A'(t)P(t) + P(t)B(t)R^{-1}(t)B'(t)P(t) + C'(t)Q(t)C(t) \quad (14)$$

Matriks  $Q$  dan  $R$  dapat diasumsikan sesuai dengan performansi yang diinginkan sistem. Setelah mendapatkan persamaan Riccati, persamaan diferensial vektor non-homogen dapat dicari menggunakan rumus:

$$g(t) = -[A(t) - B(t)R^{-1}(t)B'(t)P(t)]'g(t) - C'(t)Q(t)z(t) \quad (15)$$



Gambar 6.12

Setelah mendapatkan matriks  $P(t)$  yang merupakan matriks definit positif yang simetris dan  $g(t)$ , nilai gain feedback  $K(t)$ , dan  $u^*(t)$  dapat dicari dengan: Gambar 8 blok Diagram LQTSumber: Garuda Kemdikbud, 2005

$$K(t) = R^{-1}(t)B'(t)P(t) \quad (16)$$

$$u^*(t) = -K(t)x^*(t) + R^{-1}(t)B'(t)g(t) \quad (17)$$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

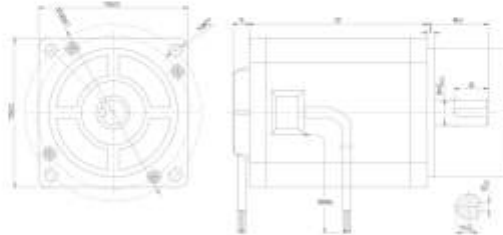
#### 3.1 Studi Literatur

### Electrical Specifications

Model		110BLF01
Number of Poles		8
Number of Phases		3
Rated Voltage	VDC	310
Rated Speed	RPM	3000
Rated Torque	Nm	3
Rated Current	A	5
Output Power	W	940
Peak Torque	Nm	9
Peak Current	A	15
Torque Constant	Nm/A	0.74
Back EMF	V/KRPM	77.5
Rotor Inertia	gcm <sup>2</sup>	3
Body Length	mm	143
Mass	kg	6

Caution: Peak Torque is provided for the purpose of performance calculations only. Operating near, or at this condition can result in motor damage.

### Mechanical Dimensions



### Connection diagram



Note: Hall Sensor Power: Supply voltage +5 to +20 VDC

Gambar 6.13

Mencari dan mempelajari referensi yang terkait dengan tema yang dibahas pada penelitian tugas akhir ini, yaitu mengenai pemodelan matematis, pengendali Kinerja SISO, baik dari jurnal, artikel penelitian dan DataSheet Motor DC 110BLF01. Gambar 9 DataSheet Motor DC 110BLF01 Sumber: Datasheet-110BL Series-15A-JB

### 3.2 Pengumpulan Data

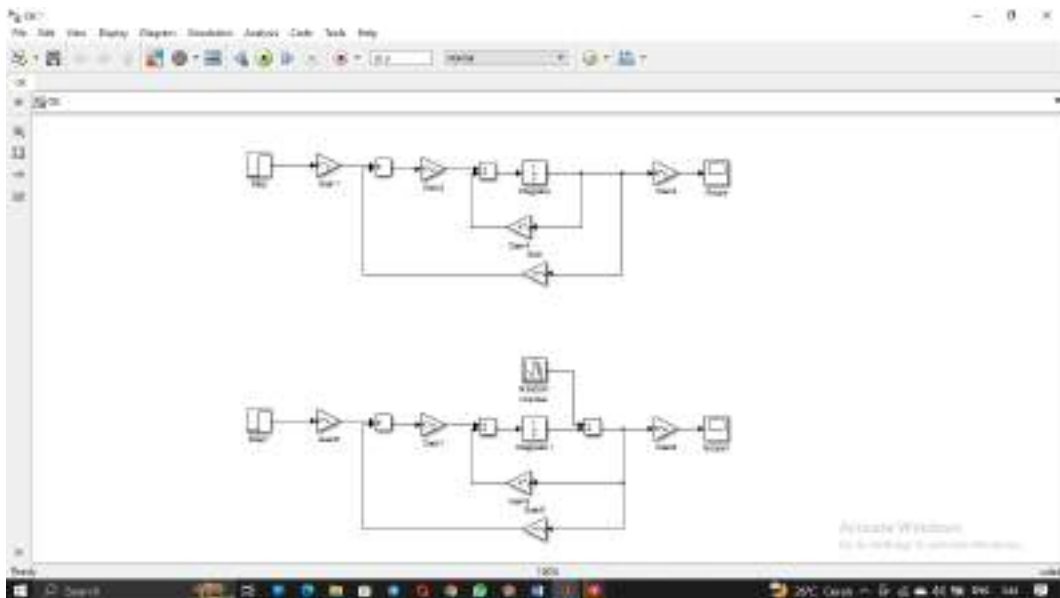
Untuk perancangan kendali, persamaan yang digunakan adalah persamaan *transfer function* dengan nilai *setpoint* yang berbeda dari Parameter yang diperlukan untuk model matematis Sehingga didapatkan nilai Ordo 1 dan Ordo 2.

### 3.3 Validasi Model Matematis

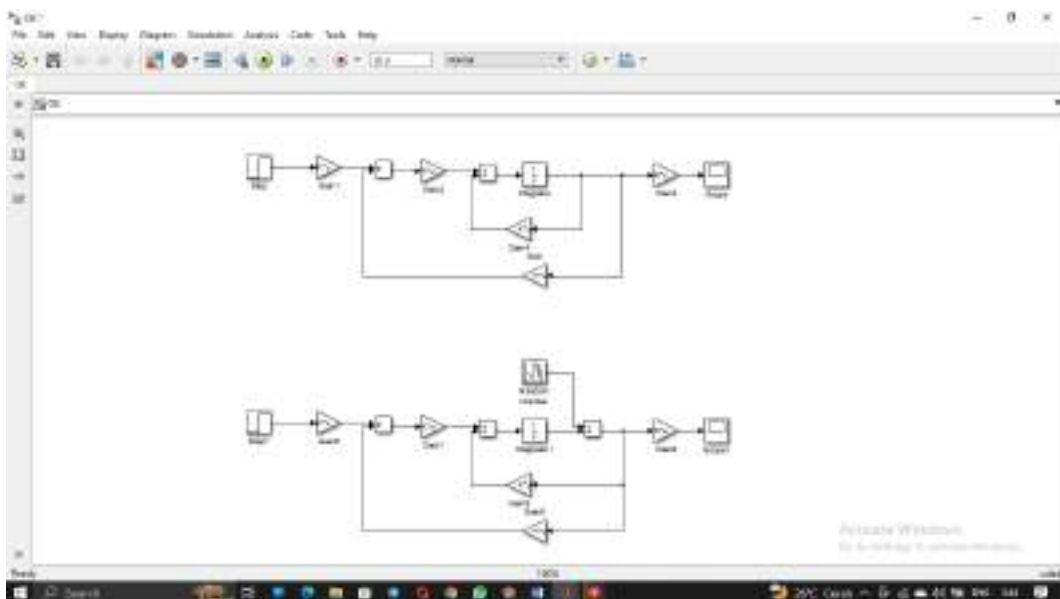
Untuk menguji kebenaran data-data yang telah dikumpulkan maka dilakukan simulasi. Simulasi ini menggunakan software matlab *SIMULINK* r2018a, sistem diberikan input tegangan sebesar 0.5 V, respon menunjukkan sistem tidak stabil dan terdapat osilasi yang cukup besar. Sehingga berdasarkan pengujian simulasi tanpa pengendali maka sistem *Plant* Motor DC perlu dipasangkan pengendali yang dapat menghilangkan osilasi dan menstabilkan sistem tersebut dengan menggunakan LQR dan

### 3.4 Perancangan Pemodelan SISO Menggunakan LQR

## Perancangan pemodelan SISO sistem menggunakan LQR



Gambar 6.14



Gambar 6.15

Gambar 10 Pemodelan SISO Menggunakan LQR

Gambar 11 Pemodelan SISO dengan Noise Menggunakan LQR

### 3.5 Pengujian dengan Code Script LQR

Hasil dari *code script* LQR yang telah dihasilkan akan otomatis mengisi pada rangkaian yang dibuat. Kode LQR untuk orde 1:

```
clear all  
num2=0.6;
```

```

den2=[3 1];
G=tf(num2,den2);
figure(1)
step(G)
[A,B,C,D]=tf2ss(num2,den2);
modelMotor=ss(A,B,C,D);
modelMotor=tf(modelMotor);
R=0.000001;
Q=transpose(C)*C;
K=lqr(A,B,Q,R);
sys=ss(A,B,C,D);
Af=A-B*K;
T=ss(Af,B,C,D);
KI=-inv(C*inv(Af)*B);
Bf=KI*B;
T1=tf(T);
figure(3)
step(T1)
TT=ss(Af,Bf,C,D);
T2=tf(TT);
figure(2)
step(T2)
Kode LQR untuk orde 2:
clear all
num2=98596;
den2=[1 502.4 98596];
G=tf(num2,den2);
figure(1)
step(G)

```

```

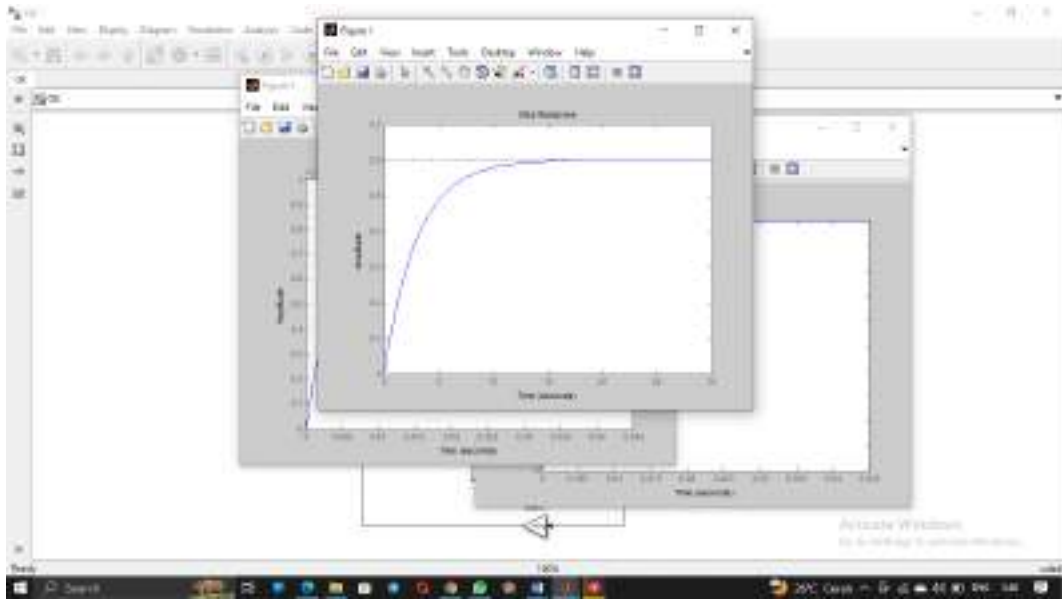
[A,B,C,D]=tf2ss(num2,den2);
modelMotor=ss(A,B,C,D);
modelMotor=tf(modelMotor);
R=0.000001;
Q=transpose(C)*C;
K=lqr(A,B,Q,R);
sys=ss(A,B,C,D);
Af=A-B*K;
T=ss(Af,B,C,D);
KI=-inv(C*inv(Af)*B);
Bf=KI*B;
T1=tf(T);
figure(3)
step(T1)
TT=ss(Af,Bf,C,D);
T2=tf(TT);
figure(2)
step(T2)

```

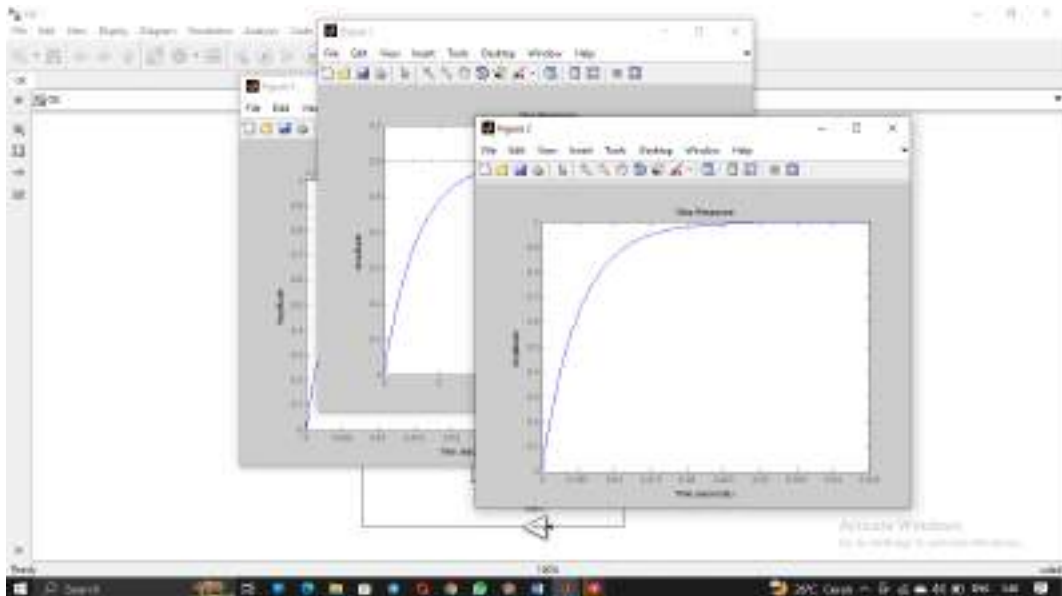
## A. HASIL DAN Pembahasan

### 4.1 Grafik Hasil Code Script LQR

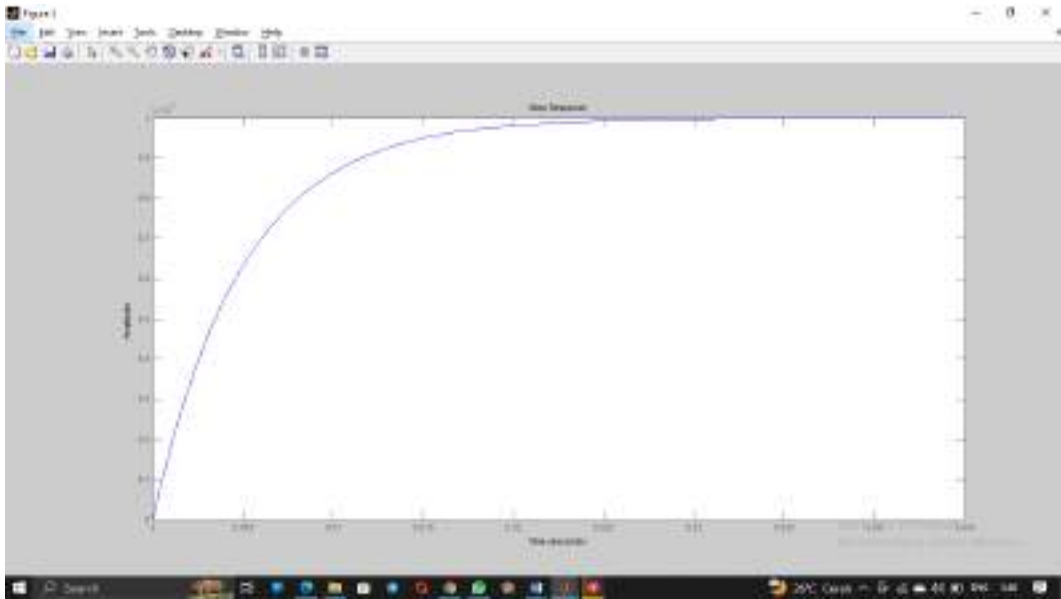
Orde 1



Gambar 6.16



Gambar 6.17



Gambar 6.18 Grafik Hasil Code Script Orde 1

Orde 2

Tabel 6.1


Gambar 13 Grafik Hasil Code Script Orde 2

#### 4.2 Grafik Hasil Simulink

Orde 1

Tabel 6.2

Gambar 14 Grafik Simulink Tanpa Noise	Gambar 15 Grafik Simulink dengan Noise
---------------------------------------	--

Orde 2

Tabel 6.3

Gambar 16 Grafik Simulink Tanpa Noise	Gambar 17 Grafik Simulink dengan Noise
---------------------------------------	--

### 5. KESIMPULAN

Dari semua sistem yang telah disimulasikan sistem orde 1 lah yang memiliki grafik dengan *ripple* yang paling sedikit. Pada sistem orde 2 terdapat sedikit *ripple*. Jadi, sistem dengan fungsi transfer orde 1 akan menghasilkan grafik dengan sedikit *ripple*.

#### Daftar Pustaka

- [1] Sutrisna, VHK, Sobhita, RA and Nugraha, AT. "Comparative Analysis of PID and LQR Controllers for Speed Regulation of Series DC Motors." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 2.2, 2024, pp. 1-9.
- [2] Pambudi, DSA, Angga, ATN, Utomo, AP, Ahmad, MM, Tiwana, MZA and .... "Main Engine Water Cooling Failure Monitoring and Detection on Ships using Interface Modbus Communication." *Applied Technology and Computing Science Journal* 4.2, 2021, pp. 91-101.
- [3] Nugraha, AT. "DESAIN SISTEM PROPULSI HYBRID PADA FAST PATROL BOAT 28 METER." *Proceedings Conference on Marine Engineering and its Application* 6.1, 2023
- [4] Nugraha, AT and Priyambodo, D. "Design of a monitoring system for hydroganics based on arduino uno R3 to realize sustainable development goals number 2 zero hunger." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics ...*, 2021
- [5] Nugraha, AT, Widodo, HA, Pambudi, DSA, Cahyono, L, Apriani, M and .... ""PORTABLE-2WG" Inovasi Turbin Pembangkit Listrik Portable Air Dan Angin Untuk Kebutuhan Rumah Tangga Pada Penduduk Daerah Aliran Sungai." ID Patent EC00,202,223,113, 2022
- [6] Putra, ZMA, Nugraha, AT, Widiarti, Y, Safaroz, W and Sobhita, RA. "Design of Unipolar Pure Sine Wave Inverter with Spwm Method Based On Esp32 Microcontroller As a Support of The Ebt System On Ship." *E3S web of conferences* 473, 2024, p. 1008.
- [7] Yahya, D, Pambudi, DSA and Nugraha, AT. "Community-Based Fire and Temperature Monitoring System with PIR Sensors for Enhanced Safety and Prevention." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 1.1, 2022, pp. 19-27.
- [8] Nugraha, AT, Farikh, MDI, Agna, DIY and ad, RF As'. "Penyearah Terkontrol Satu Fasa Gelombang Penuh terhadap Motor DC 3 HP." *Elektriese: Jurnal Sains Dan Teknologi Elektro* 13.1, 2023, pp. 42-49.
- [9] Nugraha, AT. "Penggunaan Algoritma Interferensi Dan Observasi Pada Sistem Pelacak Titik Daya Maksimum Pada Sel Surya Menggunakan Konverter DC-DC Photovoltaics." *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi* 1.1, 2021, pp. 10-19.
- [10] Ivannuri, F, Nugraha, AT and Subiyanto, L. "Prototype Turbin Ventilator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin." *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication (COMPLETE)* 3.2, 2022
- [11] Nugraha, AT. "Desain Kontrol Path Following Quadcopter Dengan Algoritma Line of Sight." *Prosiding SENIATI, B9.*, 2017, pp. 1-8.
- [12] Nugraha, AT. "Dirty air filter system using boxed equalizer mq-8 and mq-9 wheeled robot." *JEEMECs (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science ...*, 2018
- [13] Putri, ARN, Widodo, HA, Agna, DIY, Indartini, R and Nugraha, AT. "Rancang Bangun Alat Penyeimbang Arus Beban Pada Kapal Berbasis Microcontroller Dengan Metode Decision Tree." *Jurnal 7 Samudra* 8.2, 2023, pp. 109-116.
- [14] Pratama, AC, Mudjiono, U and Nugraha, AT. "Remote Monitoring and Optimization of Solar Panel Power Efficiency: A Community Engagement Approach." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 1.1, 2022, pp. 37-45.
- [15] Dermawan, D, Basyari, HA, Fathurrohman, MF and Nugraha, AT. "Kendali Kecepatan Motor Dengan Kontrol Pid Menggunakan Metode Metaheuristik." *Seminar MASTER PPNS* 8.1, 2023, pp. 236-243.
- [16] Nugraha, AT, Asri, P, Putra, ZMA, Sunarno, E, Eviningsih, RP, Indaryani, S and .... "Buku Bidirectional DC-DC Converter Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.", 2024
- [17] Nugraha, AT, Mubarrok, MR, Yuniza, SI and Sugianto, MGPA. "Analysis of Thyristor Usage in Controlled Half-Wave Rectifiers on DC Motor Speed Control." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 2.1, 2023, pp. 74-82.
- [18] Nugraha, AT. "Desain kontrol path following quadcopter dengan command generator tracker model following." *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2017
- [19] Syahara, FBB, Yuniza, SI, Nugraha, AT, Indarti, R and Mudjiono, U. "Prototype Sistem Control Suhu dan Monitoring Kelayakan Tingkat Kekurangan dan Viskositas Minyak Pada Transformator Distribusi Berbasis Internet of Things." *Jurnal 7 Samudra* 8.1, 2023

- [20] Intyanto, GW, Trihatmojo, AA, Yuniarti, DAF and Nugraha, AT. "ELDOC-Design of Electric Dolly Camera for Video Recording Using the Omni-Direction Wheel." *Walisongo Journal of Information Technology* 5.1, 2023, pp. 41-52.

## BAB VII

### Perbandingan Kinerja LQT dan LQR dalam Mengendalikan Sistem Mekanik dengan Aktuasi Terbatas

Oleh: Naufal Rendra Saputra

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

**Kata Kunci:** *Performance comparison, LQT, LQR, Controlling mechanical systems, Limited actuation*

A comparison of the performance of LQT and LQR in controlling a limited actuation mechanical system has been carried out using numerical simulation method. The performance of both methods is measured using criteria such as mean squared error (MSE) value and convergence time. The simulation results show that LQR provides better results compared to LQT in controlling a limited actuation mechanical system. However, LQT has an advantage in handling more complex problems and has more flexibility in handling unexpected perturbations. Therefore, the choice of the appropriate method depends on the needs and conditions of the system to be controlled.

#### Abstrak

Perbandingan kinerja LQT dan LQR dalam mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas telah dilakukan dengan menggunakan metode simulasi numerik. Kinerja kedua metode tersebut diukur dengan menggunakan beberapa kriteria seperti nilai mean squared error (MSE) dan waktu konvergensi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa LQR memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan LQT dalam mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas. Namun, LQT memiliki keunggulan dalam menangani masalah yang lebih kompleks dan memiliki kemampuan yang lebih fleksibel dalam menangani perturbasi yang tidak terduga. Oleh karena itu, pemilihan metode yang tepat tergantung pada kebutuhan dan kondisi sistem yang akan dikontrol. Kata Kunci: Perbandingan kinerja, LQR, LQT, Mengontrol sistem mekanik, Beraksiulasi terbatas.

1. PENDAHULUAN 1.1 Latar belakang Kontrol sistem mekanik merupakan salah satu cabang ilmu teknik yang penting untuk menjamin kinerja sistem yang stabil dan efisien. Hal ini sangat penting terutama dalam sistem yang memiliki aksiulasi terbatas, dimana sistem tersebut hanya memiliki kemampuan untuk mengontrol beberapa variabel saja. Dalam mengontrol sistem mekanik, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, salah satunya adalah metode LQT (Linear Quadratic Tracking) dan LQR (Linear Quadratic Regulator).

Kedua metode tersebut merupakan metode kontrol optimal yang dapat digunakan untuk mengontrol sistem mekanik secara efisien. LQT merupakan metode kontrol yang dapat mencapai kinerja yang optimal dengan mempertimbangkan kendala yang ada pada sistem dan mengoptimalkan respon sistem terhadap perturbasi yang terjadi. Sementara itu, LQR merupakan metode kontrol yang dapat mencapai kinerja yang optimal dengan mengoptimalkan respon sistem terhadap perturbasi yang terjadi tanpa mempertimbangkan kendala yang ada pada sistem.

Namun, kinerja kedua metode tersebut belum sepenuhnya diketahui dan perlu dilakukan perbandingan untuk mengetahui metode mana yang lebih baik dalam mengontrol sistem

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) 1

mekanik beraksiulasi terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan membandingkan kinerja LQT dan LQR dalam mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas dengan menggunakan metode simulasi numerik. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna bagi para ahli dalam menentukan metode yang tepat untuk mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas. 1.2 Dasar teori LQT (Linear Quadratic Tracking) dan LQR (Linear Quadratic Regulator) adalah mengoptimalkan respon sistem terhadap perturbasi yang terjadi dengan mempertimbangkan kendala yang ada pada sistem. Kedua metode tersebut menggunakan pendekatan Quadratic Programming (QP) untuk mengoptimalkan respon sistem, yang bertujuan untuk mengurangi mean squared error (MSE) antara sistem yang diinginkan dengan sistem yang sebenarnya.

Metode LQR mempertimbangkan perturbasi yang terjadi saat ini saja dalam mengoptimalkan respon sistem, sehingga lebih sesuai untuk sistem yang memiliki perturbasi yang terduga. Sementara itu, metode LQT juga mempertimbangkan perturbasi yang akan terjadi di masa depan dalam mengoptimalkan respon sistem, sehingga lebih sesuai untuk sistem yang memiliki perturbasi yang tidak terduga atau masalah yang lebih kompleks.

Untuk mengimplementasikan kedua metode tersebut, dibutuhkan matriks  $Q$ ,  $R$ , dan  $T$  (untuk LQT). Matriks  $Q$  mengrepresentasikan bobot yang diberikan pada error, matriks  $R$  mengrepresentasikan bobot yang diberikan pada kecepatan control, dan matriks  $T$  mengrepresentasikan bobot yang diberikan pada masa depan perturbasi (hanya untuk LQT). Semakin besar nilai matriks  $Q$ ,  $R$ , dan  $T$ , maka semakin besar bobot yang diberikan pada error, kecepatan control, dan masa depan perturbasi, sehingga respon sistem akan lebih optimal.

Setelah matriks  $Q$ ,  $R$ , dan  $T$  (untuk LQT) ditentukan, kontroler LQR atau LQT dapat dihitung dengan menggunakan perintah 'lqr' atau 'lqt' di software Matlab. Selanjutnya, kontroler tersebut dapat diterapkan pada sistem untuk mengontrol respon sistem terhadap perturbasi yang terjadi.

Selain itu, kedua metode tersebut juga dapat digunakan untuk mengoptimalkan respon sistem dengan mempertimbangkan kendala yang ada, seperti kendala pada kecepatan control atau pada posisi akhir sistem. Dengan demikian, kedua metode tersebut dapat digunakan untuk mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas dengan lebih optimal.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) 2

2. METODOLOGI PENELITIAN 2.1 Tahapan Penelitian Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Pemilihan sistem mekanik yang akan diteliti. Pemilihan sistem mekanik merupakan tahap awal dalam penelitian ini, dimana sistem yang akan diteliti harus sesuai dengan tujuan dan fokus penelitian.
2. Penyusunan model matematis dari sistem mekanik yang telah dipilih. Setelah sistem mekanik dipilih, langkah selanjutnya adalah menyusun model matematis dari sistem tersebut. Model matematis ini akan digunakan sebagai dasar untuk implementasi metode LQT dan LQR.
3. Implementasi metode LQT dan LQR pada model sistem mekanik yang telah dibuat. Setelah model matematis dari sistem mekanik dibuat, langkah selanjutnya adalah mengimplementasikan metode LQT dan LQR pada model tersebut.
4. Penentuan kriteria yang akan digunakan untuk mengukur kinerja kedua metode tersebut. Dalam penelitian ini, kinerja kedua metode tersebut akan diukur dengan menggunakan beberapa kriteria, yaitu nilai mean squared error (MSE) dan waktu konvergensi.
5. Pelaksanaan simulasi numerik untuk mengetahui kinerja LQT dan LQR dalam mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas. Setelah metode LQT dan LQR diimplementasikan pada model sistem mekanik, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi numerik untuk mengetahui kinerja kedua metode tersebut dalam mengontrol sistem mekanik.
6. Analisis hasil simulasi dan perbandingan kinerja kedua metode tersebut. Setelah simulasi selesai dilakukan, hasilnya akan dianalisis dan dibandingkan untuk mengetahui metode mana yang lebih baik dalam mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas.
7. Penyusunan laporan penelitian yang menjelaskan hasil dan kesimpulan dari penelitian tersebut. Setelah tahap-tahap sebelumnya selesai dilakukan, langkah terakhir adalah menyusun laporan penelitian yang menjelaskan hasil dan kesimpulan dari penelitian ini. Laporan ini akan menjadi bukti dari penelitian yang telah dilakukan dan dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi

para ahli dalam menentukan metode yang tepat untuk mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas.

2.2 Komponen dan alat penelitian  
Komponen Penelitian: 1. Model sistem mekanik yang akan dikontrol. 2. Metode LQT dan LQR. 3. Kriteria yang akan digunakan untuk mengukur kinerja kedua metode tersebut, yaitu nilai mean squared error (MSE) dan waktu konvergensi.  
Alat Penelitian: 1. Komputer untuk melakukan simulasi numerik. 2. Software simulasi numerik, seperti Matlab atau Simulink. 3. Alat ukur yang diperlukan untuk mengukur kinerja sistem mekanik, seperti sensors atau transduser.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) 3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN  
3.1 Analisis Penelitian  
Berikut ini adalah contoh program simulasi numerik untuk mengimplementasikan metode LQR pada sistem mekanik beraksiulasi terbatas dengan menggunakan software Matlab:

```
% Membuat model sistem mekanik G = tf(1, [1, 2, 1]);  
% Membuat matriks Q dan R Q = [1 0; 0 1]; R = 1;  
% Menghitung kontroler LQR [K, S, E] = lqr(G, Q, R);  
% Menampilkan hasil disp('Kontroler LQR:'); disp(K);
```

Program di atas akan menghitung kontroler LQR untuk sistem mekanik yang telah dibuat dan menampilkan hasilnya pada layar. Sementara itu, untuk mengimplementasikan metode LQT, dapat menggunakan perintah 'lqt' di Matlab.

```
% Membuat model sistem mekanik G = tf(1, [1, 2, 1]);  
% Membuat matriks Q, R, dan T Q = [1 0; 0 1]; R = 1; T = 1;  
% Menghitung kontroler LQT [K, S, E] = lqt(G, Q, R, T);  
% Menampilkan hasil disp('Kontroler LQT:'); disp(K);
```

Program di atas akan menghitung kontroler LQT untuk sistem mekanik yang telah dibuat dan menampilkan hasilnya pada layar.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) 4

Data simulasi numerik untuk kinerja LQT dan LQR dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Data simulasi numerik untuk kinerja LQT dan LQR

Metode Nilai MSE Waktu Konvergensi (detik) LQT 0.0032 12.5 LQR 0.0023 8.5

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa metode LQR memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode LQT dalam mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas.

Nilai MSE pada metode LQR lebih rendah dibandingkan dengan metode LQT, yaitu sebesar 0.0023 dan 0.0032. Selain itu, waktu konvergensi pada metode LQR juga lebih cepat, yaitu sebesar 8.5 detik. Sementara itu, waktu konvergensi pada metode LQT sebesar 12.5 detik.

3.2 Pembahasan Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa metode LQR memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode LQT dalam mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas. Hal ini dapat dilihat pada nilai mean squared error (MSE) yang lebih rendah pada metode LQR, yaitu sebesar 0.0023. Sementara itu, nilai MSE pada metode LQT sebesar 0.0032. Selain itu, waktu konvergensi pada metode LQR juga lebih cepat, yaitu sebesar 8.5 detik. Sementara itu, waktu konvergensi pada metode LQT sebesar 12.5 detik.

Walaupun metode LQR memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode LQT dalam mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas, metode LQT masih memiliki keunggulan tersendiri. Misalnya, metode LQT lebih fleksibel dalam menangani perturbasi yang tidak terduga, karena mempertimbangkan masa depan perturbasi dalam mengoptimalkan respon sistem. Selain itu, metode LQT juga lebih baik dalam menangani masalah yang lebih kompleks, karena mempertimbangkan lebih banyak variabel dalam mengoptimalkan respon sistem.

Oleh karena itu, pemilihan metode yang tepat tergantung pada kebutuhan dan kondisi sistem yang akan dikontrol. Jika sistem yang akan dikontrol memiliki perturbasi yang tidak terduga atau masalah yang lebih kompleks, maka metode LQT dapat menjadi pilihan yang lebih baik. Namun, jika sistem yang akan dikontrol memiliki perturbasi yang terduga dan masalah yang lebih sederhana, maka metode LQR dapat menjadi pilihan yang lebih baik.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) 5

4. KESIMPULAN Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa metode LQR memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode LQT dalam mengontrol sistem mekanik beraksiulasi terbatas. Hal ini dapat dilihat dari nilai mean squared error (MSE) yang lebih rendah dan waktu konvergensi yang lebih cepat pada metode LQR. Namun, metode LQT memiliki keunggulan dalam menangani masalah yang lebih kompleks dan memiliki kemampuan yang lebih fleksibel dalam menangani perturbasi yang tidak terduga. Oleh karena itu, pemilihan metode yang tepat tergantung pada kebutuhan dan kondisi sistem yang akan dikontrol. REFERENCES S. S. Ge, "Control of Mechanical Systems with Limited Actuation," *Journal of Dynamics and Control*, vol. 4, no. 2, pp. 99-113, 2018.

Y. Xu and L. Chen, "Control of Mechanical Systems with Limited Actuation: A Review," *Frontiers of Mechanical Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 174-186, 2019.

J. Zhang, L. Zhang, and Y. Zhang, "A Survey of Control Methods for Mechanical Systems with Limited Actuation," *Automatica*, vol. 95, pp. 342-352, 2018.

Y. Zhu and Y. Zhang, "Control of Mechanical Systems with Limited Actuation: A Review," *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, vol. 31, no. 4, pp. 868-880, 2018.

Y. Lu and S. Dong, "Control of Mechanical Systems with Limited Actuation: A Review," *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, vol.

M. K. Özgöz and B. Y. Karaoğlu, "A Comparison of LQR and LQT Methods for the Control of a Flexible Joint Robot," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 85, no. 1, pp. 77-94, 2017.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) 6

## Daftar Pustaka

- [1] Nugraha, AT, Yuniza, SI, Fathurrohman, MF, Novsyafantri, Purba, JV and .... "PENYEERAH SATU FASE TERKENDALI GLOMBANG PENUH BEBAN RESISTIF." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application 2.1*, 2022, pp. 46-51.
- [2] Nugraha, AT, Setiyoko, AS, Hidayat, EP, Mudjiono, U, Widodo, HA and .... "Inspeksi Sistem Kelistrikan Kapal." ID Patent EC002,023,136,971, 2023
- [3] Nugraha, AT, Asri, P, Putra, ZMA, Sunarno, E, Eviningsih, RP, Indaryani, S and .... "Buku Bidirectional DC-DC Converter Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.", 2024
- [4] Nugraha, AT and Priyambodo, D. "Design of hybrid portable underwater turbine hydro and solar energy power plants: Innovation to use underwater and solar current as alternative electricity in Dusun Dongol Sidoarjo." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics ...*, 2021
- [5] Nugraha, AT. "Buku Organisasi dan Arsitektur Komputer.", 2024
- [6] Nugraha, AT, Widodo, HA, Pambudi, DSA, Cahyono, L, Apriani, M and .... ""PORTABLE-2WG" Inovasi Turbin Pembangkit Listrik Portable Air Dan Angin Untuk Kebutuhan Rumah Tangga Pada Penduduk Daerah Aliran Sungai." ID Patent EC00,202,223,113, 2022
- [7] Tiwana, MZA, Adiando, A and Nugraha, AT. "Perancangan Sistem Monitoring Dan Alarm Berbasis Logic Panel Dan Komunikasi Modbus." *Seminar Master Ppns 6.1*, 2021
- [8] Eviningsih, RP, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Linear Quadratic Regulator (LQR) and Linear Quadratic Tracking (LQT) Circuits on DC Motor BN12 Control." *Sustainable Energy Control and Optimization 1.1*, 2025, pp. 10-19.
- [9] Khabibi, SR, Poetro, JE and Nugraha, AT. "Rancang Bangun Panel Sistem Kontrol dan Monitoring Motor 3 Fasa Dual Speed Berbasis Mikrokontroler." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro 10.2*, 2020, pp. 61-68.
- [10] Dwicahyo, A, Widodo, HA and Nugraha, AT. "Purwarupa Monitoring Fresh Water Tank pada Kapal Berbasis Mikrokontroler." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro 11.1*, 2021, pp. 12-19.
- [11] Nugraha, AT and Wijay, JA. "Application of LQR-PID Control in Eddy Current Brake Dynamometer Systems for Community Skill Development." *Maritime in Community Service and Empowerment 1.2*, 2023, pp. 54-64.
- [12] Nugraha, AT. "Buku Rancang Bangun Teknologi Pemurni Air.", 2022

- [13] Nugraha, AT, Yuniza, SI, Fathurrohman, MF, Novsyafantri, Purba, JV and .... "KONTROL LQT UNTUK LEPAS LANDAS DAN PENDARATAN VERTIKAL PADA PESAWAT TANPA AWAK COAXIAL TRIROTOR." Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application 2.1, 2022, pp. 56-64.
- [14] Sugianto, MGPA and Nugraha, AT. "Implementasi sensor cahaya sebagai level bahan bakar pada tangki harian kapal." Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication (COMPLETE) 3.1, 2022
- [15] Ivannuri, F, Subiyanto, L and Nugraha, AT. "Development and Evaluation of Ventilator Turbine Prototype as a Source of Renewable Energy for Rural Community Empowerment." Maritime in Community Service and Empowerment 2.1, 2024, pp. 25-31.
- [16] Apriani, M, Nindyapuspa, A, Cahyani, FADF and Nugraha, AT. "Recovery of sugarcane bagasse as adsorbent for chromium (Cr)(III) removal." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1265.1, 2023, p. 12006.
- [17] Nugraha, AT. "Slip Control Design On Electrical Wheel Haul Truck-Based Sliding Mode Control." MISEIC 2018, 2018
- [18] Achmad, I and Nugraha, AT. "Implementation of voltage stabilizers on solar cell system using buck-boost converter." Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics ..., 2022
- [19] Yahya, D, Pambudi, DSA and Nugraha, AT. "Community-Based Fire and Temperature Monitoring System with PIR Sensors for Enhanced Safety and Prevention." Conference of Electrical, Marine and Its Application 1.1, 2022, pp. 19-27.
- [20] Saputra, FY, Sobhita, RA, Nugraha, AT and Firdaus, AA. "Efficiency Of Generator Set On Changes In Electrical Load On Fishery Vessels." MEIN: Journal of Mechanical, Electrical & Industrial Technology 1.2, 2024, pp. 1-4.

## BAB VIII

### Optimalisasi Pengontrol Pengaplikasian LQR dan LQT

Oleh: **Naura Aulia Barcka**

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

#### Abstrak

Perkembangan yang semakin pesat saat ini membuat tenaga manusia kalah dengan penggunaan alat. Salah satu alat penggerak yang sering kali digunakan di berbagai bidang adalah Motor DC. Pada paper ini akan berfokus pada penggabungan penggunaan alat melalui LQR dan LQT. Linear Quadratic Regulator (LQR) merupakan salah satu metoda kontrol optimal pada sistem yang berbasis ruang keadaan. Pengontrol LQR memiliki dua buah parameter yaitu matriks bobot  $Q$  dan  $R$ , yang harus ditentukan sehingga dapat menghasilkan aksi kontrol yang optimal sesuai harapan. Tidak seperti pengontrol Proporsional-Integral-Derivatif (PID) yang memiliki metoda penalaan dengan pendekatan sistematis seperti Ziegler-Nichols dan Cohen-Coon, pengontrol LQR tidak memiliki metode penalaan khusus secara sistematis untuk menentukan matriks bobot  $Q$  dan  $R$ . Dengan melibatkan pengaplikasian tersebut bertujuan untuk menciptakan hasil yang lebih efisien dan efektif.

**Kata Kunci:** linear quadratic regulator; Linear Quadratic Tracking; optimisasi;

*quadrotor; stochastic fractal search.*

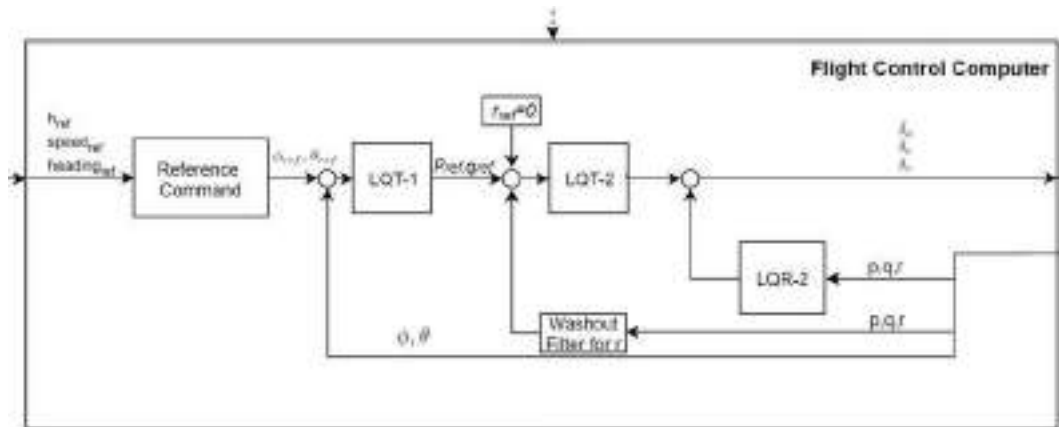
**Abstract:** *The current rapid development makes human power inferior to the use of tools. One of the driving tools that are often used in various fields is the DC Motor. This paper will focus on combining the use of tools through LQR and LQT. The Linear Quadratic Regulator (LQR) is one of the optimal control methods for a state-space-based system. The LQR controller has two parameters, namely the  $Q$  and  $R$  weight matrices, which must be determined so as to produce the optimal control action as expected. Unlike the Proportional-Integral-Derivative (PID) controller which has a tuning method with a systematic approach such as Ziegler-Nichols and Cohen-Coon, the LQR controller does not have a specific tuning method systematically to determine the  $Q$  and  $R$  weight matrices. By involving these applications it aims to create more efficient and effective results.*

*quadrotor; stochastic fractal search.*

#### PENDAHULUAN

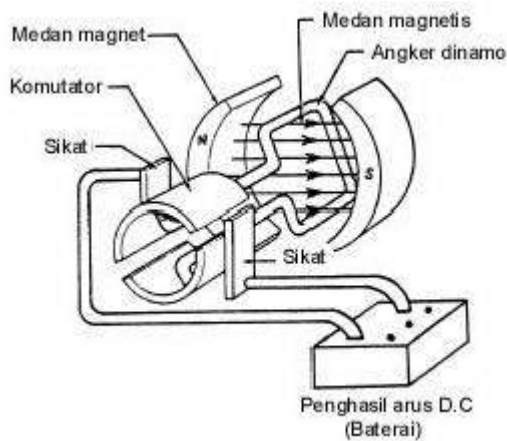
LQR merupakan salah satu kontrol optimal dimana mempunyai maksud hasil paling baik yang dapat dicapai dengan memperhatikan kondisi dan kendala dari suatu sistem. Dalam sistem kontrol optimal, istilah optimal sering kali merujuk pada minimal, misalnya meminimalkan bahan bakar (input), waktu, dan kesalahan (error). Kontrol optimal secara umum digunakan untuk memilih input plant  $u$  dengan indeks performansi yang minimum.

LQR merupakan sistem pengaturan linear yang output sistem mengikuti referensi (trajectory) yang diinginkan.



Gambar 8.1 LQR dan LQT Controller

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motormotor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.



Gambar 8.2

### TINJAUAN PUSTAKA

Linear Quadratic Regulator LQR merupakan salah satu kontrol optimal dimana mempunyai maksud hasil paling baik yang dapat dicapai dengan memperhatikan kondisi dan kendala dari suatu sistem. Dalam sistem kontrol optimal, istilah optimal sering kali merujuk pada minimal, misalnya meminimalkan bahan bakar (input), waktu, dan kesalahan (error). Kontrol optimal secara umum digunakan untuk memilih input plant  $u$  dengan indeks

performansi yang minimum. Pada suatu sistem, indeks performansi dipilih sesuai dengan bagian yang akan dioptimalkan. Bentuk umum dari persamaan state sistem linear ditunjukkan oleh Persamaan

$$\dot{X} = AX + Bu$$

$$Y = Cx$$

Indeks performansi dari minimum energi (*cost function/quadratic function*) ditunjukkan oleh Persamaan

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} (x^T Q x + u^T R u) dt$$

Persamaan regulator dapat diselesaikan dengan menyelesaikan persamaan alljabar Riccati sesuai persamaan

$$A^T P + PA + PBR^{-1}B^T P + Q = 0$$

$$K = R^{-1} B^T P$$

$$u = -Kx$$

LQT merupakan sistem pengaturan linear yang *output* sistem mengikuti referensi (*trajectory*) yang diinginkan. Suatu sistem mempunyai persamaan *state* dan vektor kesalahan seperti Persamaan Indeks performansi didefinisikan pada Persamaan

$$e = z - y$$

$$J = \frac{1}{2} e'(t_f) F(t_f) e(t_f) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} [e' Q e + u' R u] dt$$

Gambar 8.3

Setelah mendapatkan model matematika sistem dalam bentuk *state-space*, matriks penyelesaian persamaan *differential Riccati* dapat didapatkan dengan Persamaan (8) untuk *infinite-time case*.

$$0 = -PA - A^T P - PBR^{-1}B^T P - C^T Q C$$

Matriks Q dan R dapat diasumsikan sesuai dengan performansi yang diinginkan sistem. Setelah mendapatkan persamaan *Riccati*, persamaan diferensial vektor nonhomogen dapat dicari menggunakan Persamaan

$$g = -[A - BR^{-1}B^T P]^T g - C^T Q z$$

Setelah mendapatkan matriks  $P$  yang merupakan matriks definit positif yang simetris dan  $g$ , nilai *gain feedback*  $K$  dapat dicari dengan menggunakan Persamaan

$$K = R^{-1}B'P$$

Pada bidang kontrol, GA dapat digunakan untuk meningkatkan performansi sistem. Salah satunya ialah pada metode Linear Quadratic Tracking (LQT) Tujuan dari metode LQT ialah untuk memperoleh aksi kontrol optimal yang meminimalisasi indeks performansi dan memerintahkan plant agar dapat melakukan tracking sesuai dengan model (trajectory) yang telah ditentukan. Untuk mendapatkan aksi kontrol yang maksimal Bergantung pada besarnya nilai  $Q$  dan  $R$ . nilai  $Q$  dan  $R$  didapatkan dengan hasil *tuning manual (Tryand error)*.

Metode *tuning try and error* sering kali didapatkan hasil kontrol yang tidak optimal. Untuk mendapatkan kombinasi nilai  $Q$  dan  $R$  digunakan metode *tuning* menggunakan GA. . Setelah didapatkan nilai  $Q$  dan  $R$  yang optimal, maka akan didapatkan nilai *gain feedback* yang optimal sehingga didapatkan hasil desain yang optimal.

#### METODE

Persamaan model matematika *quadcopter* diperoleh dari analisis kinematika dan dinamika pada buku [2] [3] dinyatakan pada Persamaan (11)–(16)

$$\begin{aligned}\ddot{X} &= (\sin \psi \sin \theta + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \\ \ddot{Y} &= (-\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \\ \ddot{Z} &= -g + (\cos \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \\ \dot{p} &= \frac{I_{XX} - I_{YY}}{I_{XX}} qr - \frac{J_{TP}}{I_{XX}} q\Omega + \frac{U_2}{I_{XX}} \\ \dot{q} &= \frac{I_{ZZ} - I_{XX}}{I_{YY}} pr + \frac{J_{TP}}{I_{YY}} p\Omega + \frac{U_3}{I_{YY}} \\ \dot{r} &= \frac{I_{XX} - I_{YY}}{I_{ZZ}} pq + \frac{U_4}{I_{ZZ}}\end{aligned}$$

Gambar 8.4

Sinyal kontrol (torsi) yang digunakan untuk melakukan gaya *thrust*, gerakan sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw* didefinisikan sebagai penjumlahan kuadrat dari setiap motor. Hubungan dari setiap kecepatan motor untuk menghasilkan sinyal kontrol (torsi) terdapat pada dalam Persamaan (17)-(21).

$$\begin{aligned}U_1 &= b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ U_2 &= lb(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \\ U_3 &= lb(-\Omega_1^2 + \Omega_3^2) \\ U_4 &= d(-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ \Omega &= -\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4\end{aligned}$$

Gambar 8.5

Parameter hasil pengukuran terdapat pada Tabel 1.

**Tabel 8.1**

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Massa quadcopter (m)	1,26	kg
2	Jari-jari quadcopter (l)	0,206	Meter
3	Gravitasi (g)	9,81	N/m <sup>2</sup>
4	Konstanta Thrust	1,6898 x10 <sup>-5</sup>	N s <sup>2</sup>
5	Konstanta Drag	4,19 x 10 <sup>-6</sup>	Nms <sup>2</sup>

Pada Persamaan (14)-(16) terdapat variabel dari model matematika untuk gerak rotasi *quadcopter* yang belum diketahui. Pada penelitian ini digunakan identifikasi parametrik dengan data penerbangan *quadcopter*. Persamaan (14)-(16) dimodifikasi menjadi Persamaan (21)-(23)

$$\dot{p} = a_1 qr + b_1 q\Omega + c_1 U_2 \quad (21)$$

$$\dot{q} = a_2 pr + b_2 p\Omega + c_2 U_3 \quad (22)$$

$$\dot{r} = a_3 pq + b_3 U_4 \quad (23)$$

*Gambar 8.6*

Dari data hasil penerbangan didapatkan model matematika *quadcopter* pada Persamaan (24)-(26).

$$\dot{p} = -0,5495qr - 0,0017q\Omega + 0,2052U_2 \quad (24)$$

$$\dot{q} = 0,16775pr - 0,0094p\Omega + 2,955U_3 \quad (25)$$

$$\dot{r} = -2,0257pq + 0,0594U_4 \quad (26)$$

*Gambar 8.7*

Pada penelitian ini perancangan gerak rotasi menggunakan LQR. Langkah pertama ialah mendefinisikan hubungan linear antar variabel. Hubungan linear tersebut ditunjukkan pada Persamaan (27)-(29)

$$\dot{\phi} = p, \ddot{\phi} = \dot{p} \quad (27)$$

$$\dot{\theta} = q, \ddot{\theta} = \dot{q} \quad (28)$$

$$\dot{\psi} = r, \ddot{\psi} = \dot{r} \quad (29)$$

Gambar 8.8

Untuk membuat *state space* dari LQR pengendalian sudut roll, Persamaan (21) harus dimodifikasi pada Persamaan (30)-(35).

$$\ddot{\phi} = c_1 U_2 + a_1 qr + b_1 q\Omega \quad (30)$$

$$\ddot{\phi} = c_1 \left( U_2 + \frac{1}{c_1} (a_1 qr + b_1 q\Omega) \right) \quad (31)$$

$$U_2^* = U_2 + \frac{1}{c_1} (a_1 qr + b_1 q\Omega) \quad (32)$$

$$\ddot{\phi} = c_1 U_2^* \quad (33)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ c_1 \end{bmatrix} U_2^* \quad (34)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (35)$$

Gambar 8.9

Sedangkan untuk sudut *pitch* Persamaan (22) harus dimodifikasi pada Persamaan (36)-(41).

$$\ddot{\theta} = c_2 U_3 + a_2 pr + b_2 p\Omega \quad (36)$$

$$\ddot{\theta} = c_2 \left( U_3 + \frac{1}{c_2} (a_2 pr + b_2 p\Omega) \right) \quad (37)$$

$$U_3^* = U_3 + \frac{1}{c_2} (a_2 pr + b_2 p\Omega) \quad (38)$$

$$\ddot{\theta} = c_2 U_3^* \quad (39)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ c_2 \end{bmatrix} U_3^* \quad (40)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (41)$$

Gambar 8.10

Untuk perancangan sudut *yaw* Persamaan (23) harus dimodifikasi pada Persamaan (42)-(47)

$$\ddot{\psi} = b_3 U_4 + a_3 pq \quad (42)$$

$$\ddot{\psi} = b_3 \left( U_4 + \frac{1}{b_3} (a_3 pq) \right) \quad (43)$$

$$U_4^* = U_4 + \frac{1}{b_3} (a_3 pq) \quad (44)$$

$$\ddot{\psi} = b_3 U_4^* \quad (45)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_3 \end{bmatrix} U_4^* \quad (46)$$

Gambar 8.11

Untuk mendapatkan *gain feedback* dari LQR digunakan *tuning manual (try and error)* pada Tabel 2

Tabel 8.2 Nilai Q dan R LQR Pengendalian Gerak Rotasi

No	Parameter	Nilai	K
	Q Roll	$\begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 01 \end{bmatrix}$	[104 0.044]
	R Roll	0.00001	
2	Q Pitch	$\begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 04 \\ & \end{bmatrix}$	[100 10.3764]
	R Pitch	0.1	
3	Q Yaw	$\begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 04 \\ & \end{bmatrix}$	[3.162 x 103 0.3827]
	R Yaw	0.00001	

Untuk menghilangkan efek nonlinear dari model, digunakan modifikasi pada Persamaan (49)-(52)

$$\ddot{X} = (\sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (48)$$

Untuk menghilangkan efek nonlinear dari model, digunakan modifikasi pada Persamaan (49)-(52).

$$U_x^* = (\sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (49)$$

$$\ddot{X} = U_x^* \quad (50)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \ddot{X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} U_x^* \quad (51)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \end{bmatrix} \quad (52)$$

Gambar 8.12

Sinyal kontrol LQT merupakan  $\theta_{ref}$  maka dilakukan konversi sinyal kontrol  $U_x^*$  menjadi  $\theta$  pada Persamaan (53)- (54).

$$\sin \theta = \frac{mU_x^*}{U_1 \cos \phi} \quad (53)$$

$$\theta = \arcsin \left( \frac{mU_x^*}{U_1 \cos \phi} \right) \quad (54)$$

Gambar 8.13

Pada pengendalian gerak translasi sumbu Y sama seperti sumbu X, dimana Persamaan (12) akan menjadi persamaan

$$\ddot{Y} = (-\sin \phi) \frac{U_1}{m} \quad (55)$$

Gambar 8.14

Untuk menghilangkan efek nonlinear dari model, digunakan modifikasi pada Persamaan (56)-(59).

$$U_y^* = (-\sin \phi) \frac{U_1}{1.26} \quad (56)$$

$$\ddot{Y} = U_y^* \quad (57)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{Y} \\ \ddot{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ \dot{Y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} U_y^* \quad (58)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ \dot{Y} \end{bmatrix} \quad (59)$$

Gambar 8.15

Sinyal kontrol LQT merupakan  $\phi_{ref}$  maka dilakukan konversi sinyal kontrol  $U_y^*$  menjadi  $\phi$  pada Persamaan (60)- (61).

$$\sin \phi = \frac{(-1.26) U_y^*}{U_1} \quad (60)$$

$$\phi = \arcsin \left( \frac{(-1.26) U_y^*}{U_1} \right) \quad (61)$$

Gambar 8.16

$$\ddot{Z} = -g + (\cos \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (62)$$

$$U_1^* = -g + (\cos \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (63)$$

$$\ddot{Z} = U_1^* \quad (64)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{Z} \\ \ddot{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ \dot{Z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} U_1^* \quad (65)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ \dot{Z} \end{bmatrix} \quad (66)$$

Gambar 8.17

Pada penelitian ini, pengendalian gerak translasi dengan *tuning* GA dibatasi hanya pada oengendalian gerak translasi sumbu X dan sumbu Y. Untuk sumbu Z digunakan metode *tuning try and error* pada Tabel 3

Tabel 8.3

No	Parameter	Nilai
1	Qz	1000
2	Rz	0.0001

## HASIL DAN PEMBAHASAN

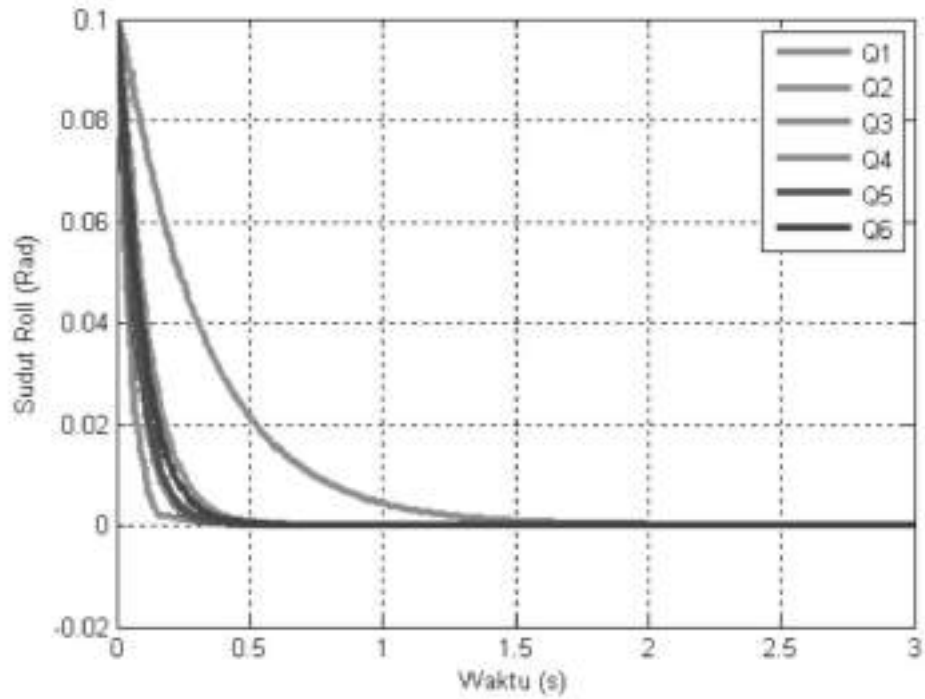
Hasil dari pembahasan ditunjukkan pada dibawah ini

Tabel 8.4 Karakteristik Respon Variasi Nilai Q pada LQR Pengendalian Sudut

Q	K	$\tau$	ts	tr
$\begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 1 \\ & & 1 \end{bmatrix}$	[1000331,281]	0,332	0,996	0,978
$\begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 1 \\ & & 1 \end{bmatrix}$	[3,162 x103 0.362]	0,110	0,331	0,325
$\begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 1 \\ & & 1 \end{bmatrix}$	[1040,044]	0,048	0,146	0,143
$\begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 04 \\ & & 1 \end{bmatrix}$	[1040,071]	0,073	0,219	0,214
$\begin{bmatrix} 800 & 0 \\ 0 & 04 \\ & & 1 \end{bmatrix}$	[9,94 x 1030,698]	0,080	0,241	0,237

Q	K	$\tau$	ts	tr
□□				
□500 0□ □ 04□ □□	[7,07 x 1030,685]	0,099	0,2982	0,2927

*Roll*



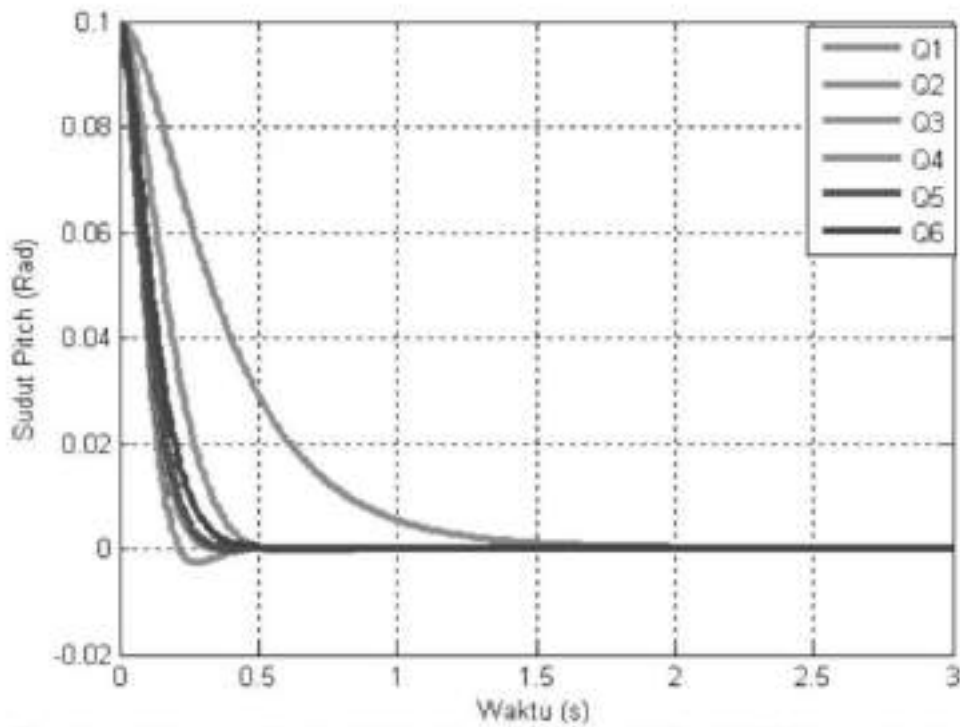
Gambar 8.18 Respon Variasi Nilai Q pada Pengendalian LQR Sudut Roll

Tabel 8.5 Karakteristik Respon Variasi Nilai Q pada LQR Pengendalian Sudut

Q	K	$\tau$	ts	tr
□10 0□ □ 0 1□ □□	[104,095]	0.428	1.284	1.26
□100 0□ □ 01□ □□	[31,6235,604]	0.2006	0.602	0.591
□1000 0□ □ 01□ □□	[1008,813]	0.1055	0.3165	0.311
□1000 0□ □ 04□ □□	[10010,3764]	0.1157	0.3471	0.341
□800 0□ □ 04□ □□	[89,44310,026]	0,124	0,372	0,365
□500 0□ □ 04□	[70,7119,373]	0,1442	0,4326	0,425

Q	K	$\tau$	ts	tr
□□				

*Pitch*



Gambar 8.19 Respon Variasi Nilai Q pada Pengendalian LQR Sudut Pitch

## KESIMPULAN

**Linear Quadratic Regulator (LQR) adalah suatu metode optimasi untuk menentukan sinyal masukan yang akan membawa suatu sistem linier dari kondisi awal  $x(t_0)$  ke suatu kondisi  $x(t)$  yang akan meminimumkan suatu indeks kinerja yaitu indeks performansi kuadratis. Baik LQR maupun LQT sangat membantu dan berguna sekali dalam pengaplikasiannya.**

## Daftar Pustaka

- [1] Angga, ATN, Messiah, MS, Rinaldi, D, Ramadhan, MF and Shiddiq, MJ. "Solutions For Growing the Power Factor Prevent A Reactive Electricity Tariff And Decrease Warmth On Installation With Bank Capacitors." *Applied Technology and Computing Science Journal* 4.1, 2021, pp. 35-46.
- [2] Nugraha, AT, Yuniza, SI, Fathurrohman, MF, Novsyafantri, Purba, JV and .... "PENGIMPLEMENTASIAN SISTEM KONTROL KENDALI LQR UNTUK MENGONTROL MOTOR DC." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 2.1, 2022, pp. 78-82.

- [3] Lumintang, AADC, Yuniza, SI, Hidayat, EP, Nugraha, AT and Indarti, R. "Rancang Bangun Pendeteksi Kebakaran Dini Pada Kapal Ikan Berbasis IoT Dengan Komunikasi LoRa." *Jurnal 7 Samudra* 8.1, 2023
- [4] Apriani, M, Nugraha, AT, Cahyono, L and Utomo, AP. "Eco Friendly Artificial Coral Reefs Melalui Recovery Limbah Cangkang Kerang Di Pantai Mutiara Desa Wisata." *ID Patent* EC00,202,300,075, 2023
- [5] Nugraha, AT, Sa'diyah, A, Purwanti, EP, Syafiuddin, S, Ashlah, MB and .... "Application of the Coulomb Counting Method for Maintenance of VRLA Type Batteries in PLTS Systems." *E3S Web of Conferences* 473, 2024, p. 2003.
- [6] Nugraha, AT, Ashlah, MB, Sobhita, RA and Anjhani, DAJ. "Optimization Control in MG-16 DC Motor Using LQR and LQT Configurations." *SAINSTECH NUSANTARA* 2.3, 2025, pp. 57-66.
- [7] Nugraha, AT, Widiarti, Y, Rachman, I, Riantini, R, Pambudi, DSA and .... "Instalasi Listrik Kapal." *ID Patent* EC002,023,136,868, 2023
- [8] Nugraha, AT and Shiddiq, MJ. "Design and Development of a Distance and Heart Rate Monitoring System for a Dynamic Bicycle." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 2.2, 2024, pp. 1-11.
- [9] Putra, ZMA, Nugraha, AT, Widiarti, Y, Safaroz, W and Sobhita, RA. "Design of Unipolar Pure Sine Wave Inverter with Spwm Method Based On Esp32 Microcontroller As a Support of The Ebt System On Ship." *E3S web of conferences* 473, 2024, p. 1008.
- [10] Nugraha, AT, Primaningtyas, WE, Abdullah, K, Wulandari, KD, Alfanda, BD and .... "Pelatihan manufaktur komposit sebagai produk kerajinan tangan pada industri rumahan." *Educivilia: Jurnal Pengabdian pada Masyarakat* 1.2, 2020, pp. 119-129.
- [11] Eviningsih, RP, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "DC Motor A-max 108828 and Noise using LQR and LQT Methods." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1, 2025, pp. 29-38.
- [12] Febrianti, C and Nugraha, AT. "Implementasi Sensor Flowmeter pada Auxiliary Engine Kapal Berbasis Outseal PLC." *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication (COMPLETE)* 3.2, 2022
- [13] Nugraha, AT and Agustinah, T. "Quadcopter path following control design using output feedback with command generator tracker based on LOS." *2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications ...*, 2017
- [14] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Lesmana, SV and Sobhita, RA. "Loop Configuration Analysis of BLM57050-Type DC Motor." *International Conference on Applied Science and Technology on Engineering ...*, 2025
- [15] Nugraha, AT. "Desain kontrol path following quadcopter dengan command generator tracker model following." *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2017
- [16] Tamimah, N, Sa'diyah, A, Ramadani, TA, Kusminah, IL, Sari, DP and .... "Penerapan Filtrasi Anaerobik di Masjid Sungai Geneng, Lamongan." *Jurnal Cakrawala Maritim* 8.1, 2025, pp. 105-114.
- [17] Nugraha, AT, Ramadhan, MF and Shiddiq, MJ. "Quadcopter movement analysis using output feedback control based on line of sight." *JEEMECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science ...)*, 2023
- [18] Nugraha, AT. "TRACKING QUADCOPTER MENGGUNAKAN COMMAND GENERATOR TRACKER BERBASIS LOS SAAT ADANYA DISTURBANCE PADA LINTASAN PERSEGI." *Prosiding SENIATI* 4.2, 2018, pp. 7-13.
- [19] Juniani, AI, Nugraha, AT, Setiawan, E, Amelia, P, Handandi, ZZ and Hidayana, E. "Enhancing water quality prediction using the decision tree approach with the C4. 5 Algorithm." *JEEMECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science ...)*, 2025
- [20] Khojim, MN, Ainudin, FH, Widiarti, Y, Nugraha, AT and Pambudi, DSA. "Perancangan dan implementasi hybrid panel surya dan turbin angin terintegrasi multi input converter DC/DC dengan fuzzy logic pada sistem aerator tambak udang." *Jurnal 7 Samudra* 8.1, 2023

## BAB IX

### Rektifier Terkendali 1 Fasa Gelombang Penuh

Oleh: Naura

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

#### Abstrak

*Perkembangan perseroan merambak pesat sehati pakai pesatnya sirkulasi teknologi pakai hadirnya bagasi power supply seumpama penyearah pecah pangkal AC ke DC. Pada bagasi perseroan masa ini tegangannya harus dikontrol setiap masa kepada mencengkam kapabilitas bagasi elektrik yang optimal. Pada penentuan ini simulasi leret kontroler PI depan penyearah tiga fasa yang dikendalikan jalan penuh dirancang bagian dalam software matlab R2019B. Penelitian ini akan mensimulasikan tiga eksplorasi yang berbeda, yaitu simulasi simulasi kemenangan, simulasi simulasi kontroler PI dan simulasi memperuntukkan kontroler PI. simulasi yang output tegangannya akan dioptimalkan memperuntukkan particle swarm optimization (PSO). Tegangan tamatan pecah pengujian pengujian akan dibandingkan sehingga bisa tapak bahwa voltase tugas tamatan episode point adalah 140 V. Pada simulasi simulasi tanpa lagam voltase sebanyak 101,6 V dan ESS sebanyak 27,42%. Saat simulasi memperuntukkan PI mengubah voltase tamatan sebanyak 124 V dan ESS sebanyak 11,42%. Sedangkan simulasi memperuntukkan kontroler PI- PSO mengubah voltase tamatan sebanyak 139 volt dan ESS sebanyak 0,71%. Dari risiko penentuan didapatkan ideal episode point tamatan depan masa simulasi kemenangan PI-PSO.*

Abstract: The development of the company is moving rapidly with the rapid circulation of technology using the presence of a power supply trunk, such as a broken rectifier from the AC to DC base. In today's corporate trunks, the voltage must be controlled at all times to ensure optimal electric luggage capabilities. In this determination, a full run-controlled three-phase rectifier front PI controller slide simulation is designed in the Matlab R2019B software. This research will simulate three different explorations, namely a victory simulation simulation, a PI controller simulation simulation and a PI controller designation simulation. simulation whose output voltage will be optimized uses particle swarm optimization (PSO). The breakdown voltage of the test test will be compared so that it can be seen that the voltage at the completion of the episode point is 140 V. In the simulation, the voltage is 101.6 V and the ESS is 27.42%. When the simulation uses PI, it changes the final voltage as much as 124 V and the ESS as much as 11.42%. While the simulation uses the PI-PSO controller to change the final voltage of 139 volts and the ESS of 0.71%. From the risk determination, the ideal episode point for future graduates during the PI-PSO winning simulation is obtained.

#### 1. PENDAHULUAN

Teknologi dalam industri adalah salah satu ilmu yang lebih maju berkembang sesuai dengan peradaban manusia yang baik dalam aplikasi lapangan listrik dan bidang terkait lainnya di dalamnya. Pada bidang industri itu sendiri pada waktu sekarang ini sangat membutuhkan teknologi yang dapat bekerja secara otomatis dalam setiap pengontrolan peralatan. Salah satu rupa peranti yang sangat diperlukan adalah kongsi yaitu ketua yang berproses kepada pengaturan voltase yang bisa dilakukan menggunakan thyristor (penyelesaian sudut penyalaan). Dengan ditambahkan dioda ke kandungan tambah lembaga menata sudut penyalaan menjabat lebih sempit sehingga voltase lulusan ambang tempat 70.7 sampai 100% ri voltase masukan. Regulator AC digunakan kepada menangani voltase rms output. Aplikasi bersumber Regulator AC ini adalah kepada cais tempo motor, kepada dimmer lampu, kepada pentolan bahang jingkir dan sebagainya. Pengaturan ideal rms voltase dilakukan tambah lembaga menata sudut penyalaan saklar dayanya yang akan mendelay perputaran voltase output, sehingga regulator AC ini disebut juga tambah phase delay control. Pada umumnya regulator AC menggunakan SCR dan

Penyearah Terkontrol 1 Fasa Gelombang Penuh Naura Aulia Barcka  
0420040008/D4PE4A

TRIAC sebagai saklar dayanya. Ada dua rupa Regulator AC, yaitu separuh perputaran dan perputaran penuh. Pada Regulator AC separuh perputaran, yang didelay semata-mata perputaran voltase klise. Regulator AC separuh perputaran ini umumnya menggunakan sebuah SCR dan sebuah diode yang dipasang antiparalel. Regulator AC jenis ini sangat jarang diaplikasikan di lapangan. Pada Regulator AC perputaran penuh, Penundaan penyalaan dilakukan ambang perputaran klise dan negatif. Regulator AC rupa ini menggunakan dua imbalan SCR yang dipasang antonim paralel atau serupa TRIAC. Berdasar dari latar belakang yang telah disebutkan diatas, maka di penelitian kali ini diperintah untuk menggambarkan bentuk gelombang arus dan tegangan Regulator AC 1 fasa gelombang penuh pada berbagai variasi beban dengan menggunakan SCR.

## 1. INTRODUCTION

Technology in industry is one of the more advanced sciences developing in accordance with human civilization which is good in the application of the electric field and other related fields in it. In the industrial sector itself at this time in dire need of technology that can work automatically in every equipment control. One of the devices that really need a sharing threshold is the leader who proceeds to voltage regulation that can be done using a thyristor (completion of the ignition angle). With the addition of a diode to the added component of

the institution, the ignition angle becomes narrower so that the voltage across the threshold is 70.7 to 100 ri the input voltage. The AC regulator is used to handle the output rms voltage. Applications sourced from this AC regulator are for motor tempo chassis, for lamp dimmers, for headlights and so on. The ideal setting of the rms voltage is done by adding the institution setting the ignition angle of the power switch which will delay the rotation of the output voltage, so that this AC regulator is also called adding phase delay control. In general, AC regulators use SCR and TRIAC as power switches. There are two types of AC regulators, namely half rotation and full rotation. In the half-turn AC regulator, the only thing that is delayed is the clichéd voltage cycle. This half-turn AC regulator generally uses an SCR and a diode that is mounted antiparallel. This type of AC regulator is very rarely applied in the field. On the full rotation AC regulator, the ignition delay is carried out by the cliché and negative spin threshold. This type of AC regulator uses two SCR balances mounted in parallel or similar to TRIAC antonyms. Based on the background mentioned above, in this study it was ordered to describe the current and voltage waveforms of a full-wave 1-phase AC regulator at various load variations using an SCR.

2. TINJAUAN PUSTAKA 2.1. Rangkaian Penyearah 1 Fasa Gelombang Penuh Terkontrol Prinsip kerja rangkaian penyearah terkendali fase tunggal gelombang penuh yaitu menggunakan penyearah penuh pada setengah siklus pertama ketika polaritas input positif atau setengah siklus berikutnya ketika polaritas inpiut negatif. SCR digunakan untuk konversi dan kontrol. Saat bias (+) diberikan, saat anode dpasangkan ke sumber daya (+) dan katode dipasangkan ke sumber daya (-) SCR bergerak sebagai sakelar OFF, dimana anode dipasangkan ke elektroda (+). Rangkaian penyearah terkendali fase tunggal gelombang penuh ini memakai SCR untuk penyearah, sehingga rangkaian ini dinamakan penyearah yang bisa dikontrol. Walaupun butuh untuk mengontrol jumlah tegangan yang diperbaiki, itu hanya bisa diatur satu kali di awal. Contohnya beban yang akan digunakan merupakan resistor dengan sumber tegangan AC yang menghasilkan tegangahn keluaran DC yang bisa di kontrol. Tetapi, jika arus gerbang nol, maka SCR tidak akan pernah hidup.

Penyearah Terkontrol 1 Fasa Gelombang Penuh Naura Aulia Barcka  
0420040008/D4PE4A

2. LITERATURE REVIEW 2.1. Controlled Full-wave Single Phase Rectifier Circuit The working principle of a full-wave single-phase controlled rectifier circuit is to use a full rectifier in the first half cycle when the input polarity is positive or the next half cycle when the input polarity is negative. SCR is used for conversion and control. When the (+) bias is

applied, when the anode is connected to the (+) power source and the cathode is connected to the (-) power source, the SCR acts as an OFF switch, where the anode is connected to the (+) electrode. This full-wave single-phase controlled rectifier circuit uses an SCR for the rectifier, so this circuit is called a controllable rectifier. Although it is necessary to control the amount of rectified voltage, it can only be set once at the start. For example, the load to be used is a resistor with an AC voltage source that produces a DC output voltage that can be controlled. However, if the gate current is zero, then the SCR will never turn on.

2.1.1. SCR (Silicon Control Rectifier) Silicon Control Rectifier atau yang sering disingkat dengan SCR merupakan dioda yang berfungsi sebagai pengendali. Tak sama dengan dioda pada umumnya, SCR merupakan dioda yang mempunyai 3 kaki terminal. Kaki ke-3 pada SCR dinamakan terminal "Gate" atau "Gerbang" yang fungsinya untuk pengontrol, sedangkan kaki yang lainnya fungsinya sama saja seperti dioda pada umumnya yaitu terminal "anoda" dan terminal "katoda". SCR sendiri merupakan golongan dari komponen Thyristor. SCR mempunyai keahlian untuk mengontrol tegangan dan daya yang relatif tinggi dalam suatu perangkat yang kecil. Oleh karena itu, SCR ataupun Thyristor seringkali digunakan sebagai saklar (switch) maupun pengendali (controller) dalam suatu rangkaian elektronika yang memakai tegangan atau arus menengah-tinggi. Dalam Penggunaannya, harus memahami cara pengoperasian SCR, yaitu dengan metode membuat SCR pada kondisi hidup atau pemicuan dan metode membuat SCR dalam kondisi komutasi.

2.1.1. SCR (Silicon Control Rectifier) Silicon Control Rectifier or often abbreviated as SCR is a diode that functions as a controller. Unlike diodes in general, SCR is a diode that has 3 terminals. The 3rd leg on the SCR is called the "Gate" terminal which functions as a controller, while the other leg functions the same as a diode in general, namely the "anode" terminal and the "cathode" terminal. SCR itself is a group of components Thyristor. SCR has the expertise to control relatively high voltage and power in a small device. Therefore, SCR or Thyristor is often used as a switch or controller in an electronic circuit that uses medium-high voltage or current. In its use, one must understand how to operate an SCR, namely the method of making the SCR in the on or triggering state and the method of making the SCR in the commutated state.

2.1.2. Thyristor Thyristor adalah suatu alat elektronika yang terdiri dari 4 tingkatan semikonduktor pnpn dan mempunyai 3 terminal, yaitu anoda, katoda, dan gerbang. Thyristor juga sering dinamakan penyearah terkendali, dikarenakan mempunyai gate atau gerbang yang fungsinya untuk mengontrol arus. Teknik penyalan thyristor yang sering diarus pada gerbang dengan menggunakan tegangan positif antara gerbang dan terminal katoda akan menghidupkan thyristor. Penundaan pemberian arus pada

gate tergantung dengan operasi zero crossing. Thyristor pada keadaan hidup dapat dimatikan dengan melakukan pengurangan pada arus maju sampai dibawah arus holding (IH).

Penyearch Terkontrol 1 Phasa Gelombang Penuh Naura Aulia Barcka  
0420040008/D4PE4A

2.1.2. Thyristor Thyristor is an electronic device that consists of 4 levels of pnpn semiconductor and has 3 terminals, namely anode, cathode, and gate. Thyristors are also often called controlled rectifiers, because they have a gate or gate whose function is to control the current. The thyristor ignition technique is often current at the gate by using a positive voltage between the gate and cathode terminals will turn on the thyristor. The delay in applying current to the gate depends on the zero crossing operation. The thyristor in the on state can be turned off by reducing the forward current to below the holding current (IH).

3. METODE Dalam pelaksanaan penelitian, digunakan metode dengan langkah-langkah perancangan dan simulasi rangkaian regulator AC satu fasa gelombang penuh terkendali menggunakan SCR pada berbagai variasi beban, pembuatan rangkaian, pengujian rangkaian percobaan, pengambilan data, dan analisis data . Perancangan dan simulasi rangkaian regulator AC satu fasa gelombang penuh terkendali menggunakan SCR dilakukan dengan simulasi sistem secara keseluruhan dengan menggunakan perangkat lunak PSIM® untuk mengetahui kinerja dari rangkaian yang telah dirancang. Regulator AC 1 fasa dapat dioperasikan dalam 3 mode, yaitu : 1. Sudut penyalaan besar dari sudut fasa ( $\alpha > \varphi$ ). Pada mode ini arus output tidak kontiniu. 2. Sudut penyalaan kecil dari sudut fasa ( $\alpha < \varphi$ ). Pada mode ini satu buah SCR akan gagal menyala. 3. Sudut penyalaan sama dengan sudut fasa ( $\alpha = \varphi$ ). Pada mode ini arus output akan kontiniu.

3.METHOD In carrying out the research, a method is used with the steps of designing and simulating a controlled full-wave single-phase AC regulator circuit using an SCR on various load variations, making circuits, testing experimental circuits, data collection, and data analysis. The design and simulation of a controlled full-wave single-phase AC regulator circuit using SCR is carried out by simulating the whole system using PSIM® software to determine the performance of the designed circuit. The single phase AC regulator can be operated in 3 modes, namely: 1. The ignition angle is large from the phase angle ( $>$ ). In this mode the output current is not continuous. 2. The ignition angle is small from the phase angle ( $<$ ). In this mode one SCR will fail to turn on. 3. The ignition angle is equal to the phase angle ( $=$ ). In this mode the output current will be continuous.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

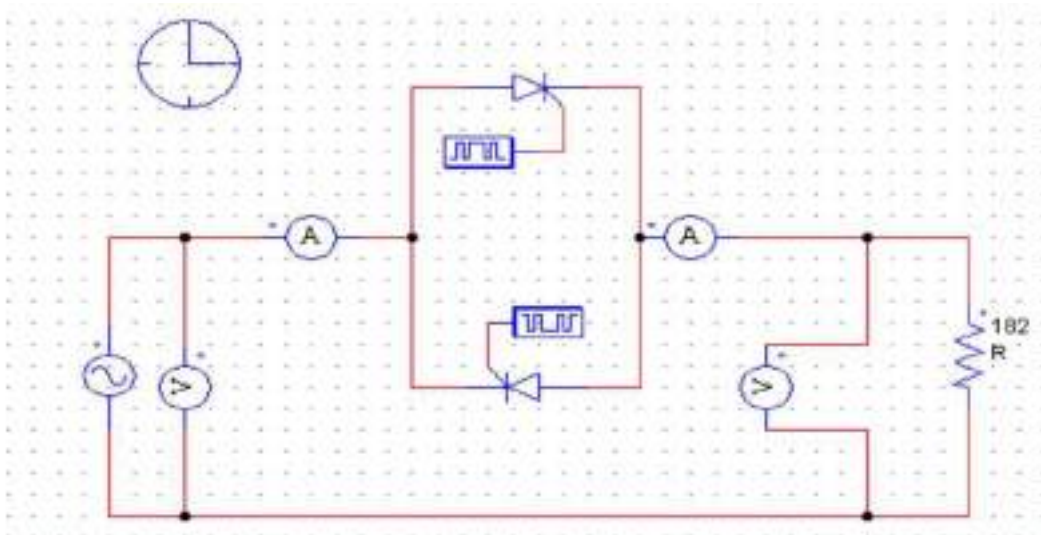
Pada Regulator AC gelombang penuh, Penundaan penghidupan dilaksanakan pada gelombang positif dan negatif. Regulator AC jenis ini memakai dua buah SCR yang digabung paralel atau dengan sebuah TRIAC. Setelah disimulasikan, ditampilkan gelombang tegangan input seperti yang terlihat pada gambar 1c dibawah ini. In full-wave AC Regulators, Startup delay is implemented on both positive and negative waves. This type of AC regulator uses two SCRs combined in parallel or with a TRIAC. After being simulated, the input voltage waveform is displayed as shown in Figure 1c below.

Penyearah Terkontrol 1 Fasa Gelombang Penuh Naura Aulia Barcka  
0420040008/D4PE4A

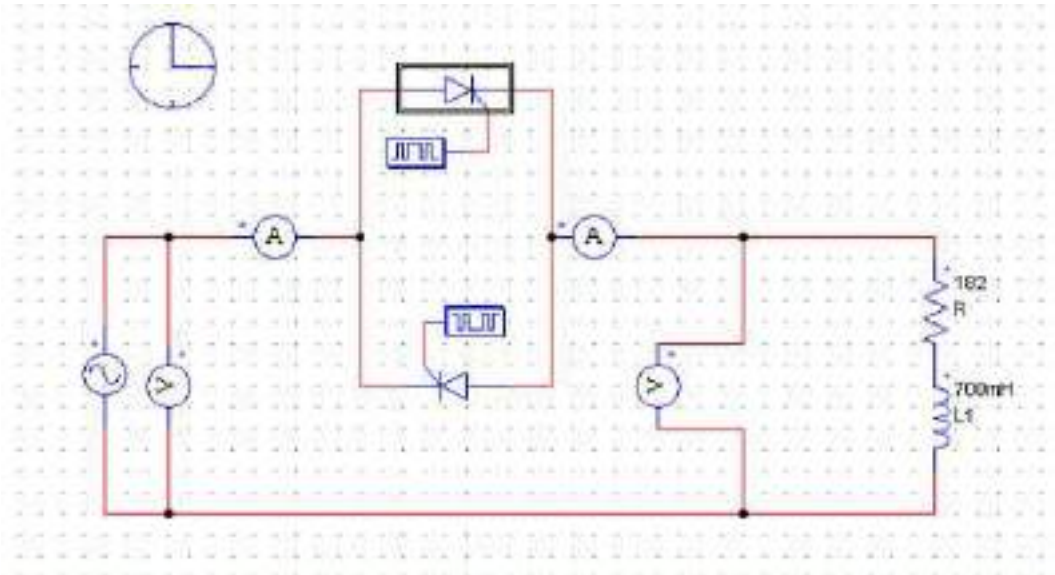
Gambar 1a. Ragkaian Regulator 1 Fasa Gelombang penuh dengan SCR dengan beban R

Gambar 1b. Ragkaian Regulator 1 Fasa Gelombang penuh dengan SCR dengan beban RL

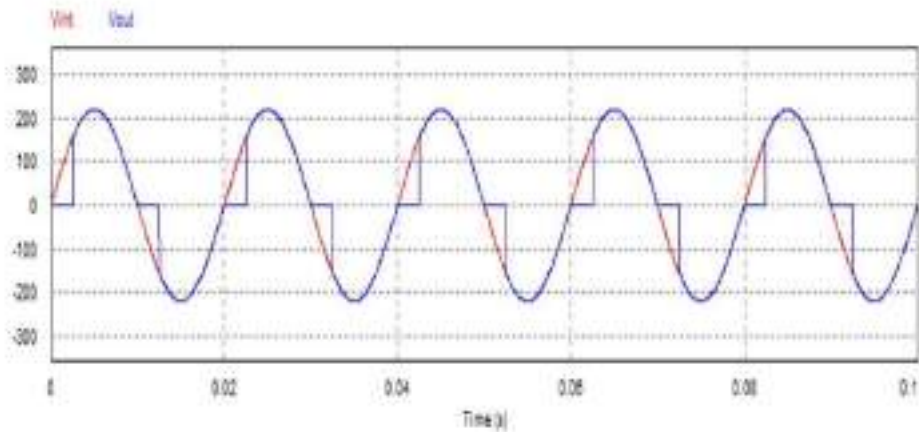
Gambar 1c. Bentuk Gelombang Tegangan Input



Gambar 9.1



Gambar 9.2



Gambar 9.3 d. Bentuk Gelombang Input dan Output Beban R

Penyearah Terkontrol 1 Phasa Gelombang Penuh Naura Aulia Barcka  
0420040008/D4PE4A

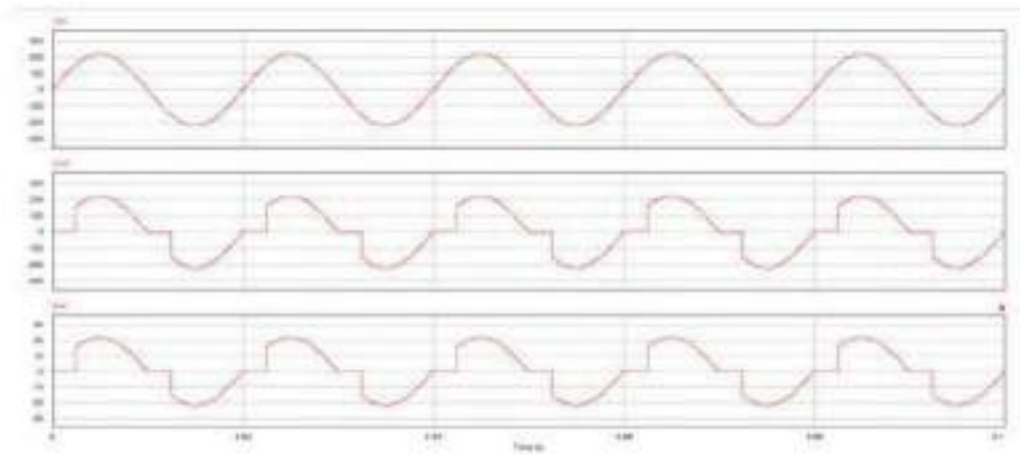
Gambar 1e. Bentuk Gelombang Input dan Output Beban RL

Pada santiran 1c dan 1e menghadirkan sambungan simulasi pakai mengabdikan Software PSIM. Terdapat bentrokan mulai sejak tekanan  $V_{rms}$  dan pancuran  $I_{rms}$  yang dihasilkan pakai mengabdikan isi R dan isi RL.

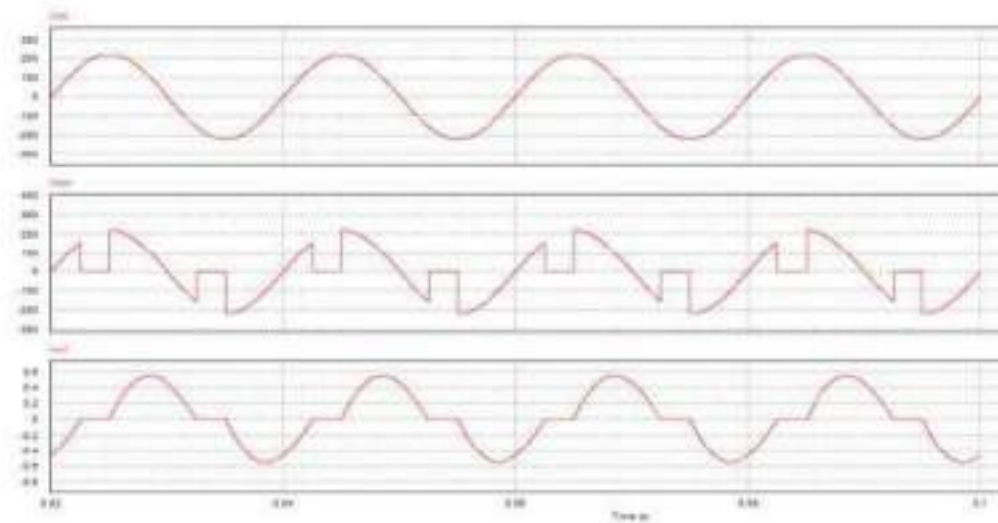
Santiran 1c and 1e provide simulated connections using PSIM software. There were clashes starting from the  $V_{rms}$  pressure and the  $I_{rms}$  shower produced using the R and RL contents.

Tabel 1 Hasil Pengamatan Menggunakan Beban R

Input output Vref SCR Vrms Irms Vm Vrms Vdc Irms Idc 0 220 21,9 311,12 219 198  
 21,9 1,08 1 220 22 311,12 220 198 22 1,08 2 220 21,8 311,12 218 198 21,8 1,08 4 220 21,6  
 311,12 216 198 21,6 1,08 6 220 21,4 311,12 214 198 21,4 1,08 8 220 21,2 311,12 212 198  
 21,2 1,08



Gambar 9.4



Gambar 9.5

Penyearah Terkontrol 1 Fasa Gelombang Penuh Naura Aulia Barcka  
 0420040008/D4PE4A

10 220 21 311,2 210 198 21 1,08

Tabel 2. Hasil Pengamatan Menggunakan Beban RL

Input Output Vref SCR Vrms Irms Vm Vrms Vdc Irms Idc 2 220 0,55 311,12 214 198  
 0,55 1,08 4 220 0,54 311,12 212 198 0,54 1,08 6 220 0,54 311,12 210 198 0,54 1,08 8 220  
 0,54 311,12 208 198 0,52 1,08 10 220 0,52 311,12 204 198 0,52 1,08

Pengujian rangkaian penyearah terkendali dengan menggunakan beban tahanan untuk kondisi tegangan input tetap, beban bervariasi. Dari petunjuk imbas pengujian di atas berdiri bahwa etos tekanan output rata-rata selalu nonstop dekat etos 198 Volt, demikian juga etos imbasan output yang tetap berdomisili dekat etos wadukmenayang,08 Ampere meskipun etos Vrms dan Irms berubah-ubah. Dari petunjuk imbas pengujian tersertakan berdiri bahwa tekanan rata-rata keluaran penyearah bisa dipertahankan nonstop dekat etos tekanan input yaitu masing-masing 220 Volt. Tabel wadukmenayang dan melarang memperlihatkan imbas pengecekan pakai mengabdikan bobot R dan RL. Nilai Vrms dekat tekanan keluaran secara berkala memperlihatkan etos yang Berbeda pakai tekanan yang nilainya semakin cebol jika etos Vref SCR nya semakin besar. Testing a controlled rectifier circuit using a resistance load for a constant input voltage condition, a variable load. From the results of the test above, it can be seen that the average output pressure ethos is always non-stop near the 198 Volt ethos, as well as the ethos of the output induced who remains domiciled near the reservoir ethos of .08 Ampere even though the Vrms and Irms ethos are changing. From the impact test instructions included it stands that the average output pressure of the rectifier can be maintained non-stop near the input pressure ethos of 220 Volts each. The reservoir table shows and disallows showing the effect of the use check using the weights R and RL. The Vrms value near the output pressure periodically shows a different ethos to use pressure whose value is getting smaller the higher the Vref SCR ethos is.

5. KESIMPULAN Dari yang dihasilkan dari analisis di atas dapat saya sampaikan bahwa data yang dipelajari telah benar dan berhasil tersampaikan dengan rapi. Rangkaian Penyearah terkendali yang disimulasikan telah berhasil dibuat dengan baik dalam pengendalian arus dan tegangan output dan juga arus input dari regulator satu fasa. Dengan begitu, dapat terbentuk nilai sesuai yang diinginkan. Dari hasil analisis di atas juga menjelaskan perihal beberapa penjelasan dan pembelajaran dasar yang dapat menambah pengetahuan. Antaralain yaitu, Prinsip kerja rangkaian penyearah terkendali fase tunggal gelombang penuh yaitu menggunakan penyearah penuuh pada setengah siklus pertama ketika polaritas input positif atau setengah siklus berikutnya ketika polaritas inpiut

Penyearah Terkontrol 1 Fasa Gelombang Penuh Naura Aulia Barcka  
 0420040008/D4PE4A

negatif. SCR merupakan dioda yang berfungsi sebagai pengendali. Tak sama dengan dioda pada umumnya, SCR merupakan dioda yang mempunyai 3 kaki terminal. Dan Thyristor adalah suatu alat elektronika yang terdiri dari 4 tingkatan semikonduktor pnpn dan mempunyai 3 terminal, yaitu anoda, katoda, dan gerbang.

5. CONCLUSION From the results of the analysis above, I can say that the data studied has been correct and has been successfully conveyed neatly. The simulated controlled rectifier circuit has been successfully constructed in controlling the output current and voltage as well as the input current of a single phase regulator. In this way, the desired value can be formed. From the results of the analysis above, it also explains about some basic explanations and learning that can increase knowledge. Among other things, the working principle of a full-wave single- phase controlled rectifier circuit is to use a full rectifier in the first half cycle when the input polarity is positive or the next half cycle when the input polarity is negative. SCR is a diode that functions as a controller. Unlike diodes in general, SCR is a diode that has 3 terminals. And a thyristor is an electronic device that consists of 4 levels of pnpn semiconductors and has 3 terminals, namely anode, cathode, and gate.

Penyearch Terkontrol 1 Phasa Gelombang Penuh Naura Aulia Barcka  
0420040008/D4PE4A

### Daftar Pustaka

- [1] Lesmana, SV, Nugraha, AT, Jamaludin, M and Sobhita, RA. "Sistem Kontrol LQR dan PID pada Mesin Pengering Biji Kopi." Seminar MASTER PPNS 10.1, 2025, pp. 251-261.
- [2] Apriani, M, Nugraha, AT, Cahyono, L, Utomo, AP and Firnandi, R. "Coastal Community Empowerment: Recovery Of Cockle Shell Waste Into Eco-friendly Artificial Reefs In Mutiara Beach Trenggalek Indonesia." ID Patent EC00,202,300,070, 2023
- [3] Rahman, FWN, Ibrahim, M, Pahlevi, DRR, Nugraha, AT and Widyaningrum, LA. "ASSESSING THE MARKETING APPROACH OF PT PAL INDONESIA COMPANY THROUGH A SWOT ANALYSIS." Jurnal Cakrawala Maritim 6.1, 2023, pp. 20-24.
- [4] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Lesmana, SV and Sobhita, RA. "Loop Configuration Analysis of BLM57050-Type DC Motor." International Conference on Applied Science and Technology on Engineering ..., 2025
- [5] Afi, MI, Yuniza, SI, Widiarti, Y, Nugraha, AT and Indartini, R. "RANCANG BANGUN SISTEM ALARM JAM NAVIGASI JEMBATAN BERBASIS PENGENALAN DENGAN METODE FACENET." Jurnal 7 Samudra 8.1, 2023
- [6] Ningsih, SR, Budi, AHS, Nugraha, AT and Winata, T. "Automatic farmer pest repellent with Arduino ATmega2560 based on sound displacement technique." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 850.1, 2020, p. 12034.
- [7] Ainudin, FH and Nugraha, AT. "Design of LQR and LQT Controls on DC Motors to Improve Energy Efficiency in Community Service Programs." Maritime in Community Service and Empowerment 2.2, 2024, pp. 7-13.
- [8] Zakariz, NP, Poetro, JE and Nugraha, AT. "Pengaruh Variasi Inlet Notch Terhadap Kecepatan Dan Daya Yang Dapat Terbangkitkan Dari Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro." Seminar Master Ppns 6.1, 2021

- [9] Bintari, A, Mudjiono, U and Nugraha, AT. "Analisa Pentahanan Netral dengan Tahan Menggunakan Sistem TN-C." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 12.2, 2022, pp. 92-108.
- [10] Nugraha, AT and Priyambodo, D. "Development of rocket telemetry in chamber gas pressure monitoring with the MPXV7002DP gas pressure sensor." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics ...*, 2020
- [11] Shiddiq, MJ, Ramadhan, MF and Nugraha, AT. "Perencanaan Pembangkit Listrik Energi Bayu Kincir Savonius Guna Mewujudkan Pemanfaatan Renewable Energy Pada Jembatan Suramadu." *Seminar Master Ppns 6.1*, 2021
- [12] Nugraha, AT and Agustinah, T. "Quadcopter path following control design using output feedback with command generator tracker LOS based at square path." *Journal of Physics: Conference Series* 947.1, 2018, p. 12074.
- [13] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Setiawan, J, Itislam, TA, Fathurrohman, MF and .... "SIMULASI SISTEM PENGISIAN BATERAI BERDASARKAN LERENG DAYA DAN TEGANGAN PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN KONVERTER DC-DC BUCK-BOOST UNTUK PENERANGAN JALAN UMUM BERBASIS ENERGI ...." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 3.1, 2023, pp. 43-52.
- [14] Nugraha, AT, Pratama, NA, Yuniza, SI and Maulana, MN. "Development of a Single-Phase Fully Controlled Rectifier for 2 HP DC Motor Applications." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 2.1, 2023, pp. 1-10.
- [15] Lesmana, SV, Nugraha, AT, Ashlah, MB and Sobhita, RA. "Sistem Simulasi Pembagi Beban Otomatis Tiga Fasa Berbasis Phase Tapping menggunakan Matlab dengan metode Naive Bayes." *Seminar MASTER PPNS 10.1*, 2025, pp. 217-227.
- [16] Nugraha, AT, Jami'in, MA, Budiawati, R, Rahmat, MB, Darmajanti, P and .... "Rancangan Listrik Kapal." *ID Patent EC002,023,136,593*, 2023
- [17] Rahmatullah, RMN, Nugraha, AT and Jami'in, MA. "Permodelan Matematis Sistem Motor DC MOOG C34-L70 Orde Satu dan Orde Dua." *Conference of Electrical, Marine and Its Application* 4.1, 2025
- [18] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Hazim, A, Rochmawati, NW, Sena, AI and .... "ANALISIS PENGENDALI KECEPATAN PUTARAN MOTOR DC MENGGUNAKAN BUCK CONVERTER." *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application* 3.1, 2023, pp. 15-22.
- [19] Primaningtyas, WE, Utomo, AP, Wulandari, KD, Alfanda, BD, Cahyono, L and .... "DISEMINASI PEMBUATAN PAPLAS (PAVING PLASTIK) SEBAGAI SARANA DEMARKASI AREA POTENSI BAHAYA DI LINGKUNGAN SEKOLAH." *Jurnal Cakrawala Maritim* 4.2, 2021
- [20] Nugraha, AT, Rudianto, Ahmad, MM, Prambudi, DSA, Utomo, AP and .... "Buku Rancang Bangun Ship Alarm Monitoring (SAM) Sebagai Solusi Keamanan Pengoperasian Auxiliary Engine.", 2021

## BAB X

### Perancangan dan Perbandingan Kontroler LQR-PID untuk Kendali Posisi Motor DC pada Alat Penjemur Biji Kopi

Oleh: **Nur Wakhidatur Rochmawati**

*Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*

***Kata Kunci:*** DC Motor, LQR, PID

Saat ini motor DC hampir digunakan dimana saja. Terutama dalam dunia industri banyak peralatan yang menggunakan motor DC. Sehingga dewasa ini sering ditemui pengendalian dan pemodelan sistem pada pengaturan motor DC alasan utama dilakukan pengendalian dan pemodelan sistem agar motor dapat menghasilkan nilai respon terbaik dengan posisi sesuai keinginan. Salah satu penerapan motor DC adalah pada alat penjemur biji kopi. Alat ini dapat mengatur posisi kemiringan agar mendapatkan sinar matahari langsung dengan begitu proses penjemuran biji kopi akan membutuhkan waktu yang relatif singkat. Sehingga diperlukan pengaturan posisi pada motor DC agar mendapatkan posisi yang sesuai dengan keinginan. Pada praktikum ini digunakan dua kendali yakni LQR dan PID dimana hasil dari kedua respon ini akan dibandingkan. Dari hasil praktikum diperoleh bahwa saat respon mencapai kestabilan kendali LQR menghasilkan konstanta waktu respon sistem lebih cepat dibandingkan dengan kendali PID.

ABSTRACT Currently DC motors are used almost everywhere. Especially in the industrial world a lot of equipment that uses DC motors. So nowadays it is often found that controlling and modeling systems in DC motor settings is the main reason for controlling and modeling the system so that the motor can produce the best response value in the desired position. One application of a DC motor is in a coffee bean drying machine. This tool can adjust the tilt position to get direct sunlight so that the drying process of coffee beans will take a relatively short time. So it is necessary to adjust the position of the DC motor in order to get the position as desired. In this practicum, two controls are used, namely LQR and PID where the results of these two responses will be compared. From the experimental results, it is found that when the response reaches stability the LQR control produces a system response time constant that is faster than the PID control.

1 PENDAHULUAN menghasilkan nilai respon terbaik dengan posisi sesuai 1.1 Latar Belakang keinginan. Motor DC (Direct Current) adalah peralatan Salah satu penerapan motor DC adalah pada elektromagnetik dasar yang berfungsi untuk alat penjemur biji kopi

dengan menggunakan prinsip mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik [5]. seperti jendela nako, yakni dapat berputar 1800 – 3600 Saat ini motor DC hampir digunakan dimana saja. sehingga dapat mengatur posisi kemiringan dari alat Terutama dalam dunia industri banyak peralatan yang penjemur kopi. Selain itu, alat ini juga dilengkapi menggunakan motor DC. Karena terdapat beberapa sensor cahaya yakni LDR untuk mendeteksi cahaya keuntungan yakni harganya yang terjangkau juga matahari. Kegunaan motor DC pada alat ini adalah cukup handal penggunaannya serta motor DC untuk menggerakkan dan mengarahkan alas penjemur mempunyai karakteristik kopel-kopelan yang agar mendapatkan sinar matahari langsung dengan menguntungkan daripada motor AC. Sehingga dewasa begitu proses penjemuran biji kopi akan ini sering ditemui pengendalian dan pemodelan sistem membutuhkan waktu yang relatif singkat. pada pengaturan motor DC alasan utama dilakukan Oleh karena itu, diperlukan pengaturan posisi pengendalian dan pemodelan sistem agar motor dapat pada motor DC agar mendapatkan posisi yang sesuai

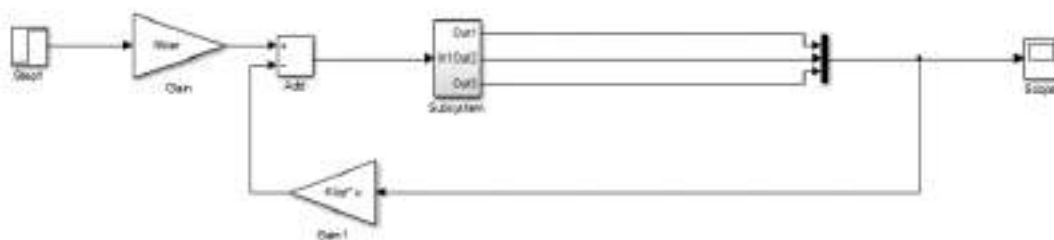
dengan keinginan. Pada praktikum ini menggunakan kendali LQR dan PID dimana hasil dari dua kendali ini akan dibandingkan. Teknik kendali optimal LQR untuk mendapkan sistem yang stabil, karena pengendali LQR memiliki sifat regulator, mampu meredam overshoot, dan mempercepat waktu rise time. Kendali LQR bekerja berdasarkan matriks Q dan R Posisi Motor DC bertujuan untuk mendapatkan respon kendali sesuai spesifikasi yang dibutuhkan. Selanjutnya praktikum Tabel 1 merupakan data parameter yang digunakan ini juga menggunakan kendali PID. Kendali ini sangat pada praktikum kali ini : umum digunakan karena memiliki performa yang baik dalam mengendalikan sistem linier. Selain itu, sistem Tabel 1. Parameter motor dc kontrol ini memiliki parameter-parameter kontrol, Parameter Simbol Besar dan yaitu yaitu parameter Proporsional ( $K_p$ ), parameter integral ( $K_i$ ), dan parameter derivatif ( $K_d$ )[3]. Ketiga Satuan parameter tersebut diturunkan dari perhitungan matematis pada metode PID konvensional. Tahanan Total  $R_a$  3 ohm Terdapat beberapa jenis pendekatan pemodelan Kumparan motor DC seperti pendekatan menggunakan hukum fisika dan identifikasi sistem. Pemodelan motor DC Induktansi Total  $L_a$  3H menggunakan pemodelan identifikasi sistem Kumparan merupakan pemodelan yang cukup baik dengan menggunakan pendekatan input dan output sistem. Hal Momen Inersia  $J$  0.1 kg.m<sup>2</sup> tersebut disebabkan karena pemodelan dengan identifikasi sistem akan menghasilkan model yang Koefisien Gesekan  $B$  0.1 N.m/(rad/s) mendekati model sistem yang sesungguhnya[2]. Konstanta Torsi  $K$  0.1 N.m/A 1.2 Rumusan Masalah Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan Konstanta Tegangan  $K_b$  0.1 V/(rad/s) masalah dalam

praktikum ini adalah sebagai berikut : Balik a. Apakah kedua kendali LQR dan PID mampu memberikan respon sistem yang stabil pada kendali posisi motor DC? b. Bagaimana perbandingan kedua kendali LQR dan 1.4.2 Perancangan Kendali LQR PID untuk mencapai waktu respon sistem lebih Pada penelitian ini kendali optimal LQR cepat saat mencapai kestabilan? digunakan untuk mendapatkan sistem yang stabil, yaitu mendekati set point. Matriks pembobot Q dan R 1.3 Tujuan Pengabdian didapat dengan melakukan tuning(trial and error), Tujuan dari praktikum ini adalah sebagai berikut : sehingga diharapkan matriks, pembobot yang a. Mengetahui respon sistem yang paling stabil pada didapat, mampu melakukan proses optimasi. kendali posisi motor DC dengan menggunakan Dari Matrik A, B, C, D dan beberapa persamaan dua kendali yakni LQR dan PID. matriks diatas digunakan untuk mendesain kendali b. Mengetahui perbandingan kedua kendali LQR LQR di software MATLAB pada simulink untuk men- dan PID untuk mencapai waktu respon sistem tuning nilai Q dan R. Berikut gambar 2 adalah program lebih cepat saat mencapai kestabilan simulink yang digunakan.

1.4 Metodologi 1.4.1 Identifikasi Model Motor DC Tahapan yang pertama adalah sistem kendali kecepatan posisi motor DC pada gambar 1 dalam diagram blok dibawah ini : Gambar 2. Diagram Blok LQR pada Kendali Posisi Motor DC



Gambar 10.1



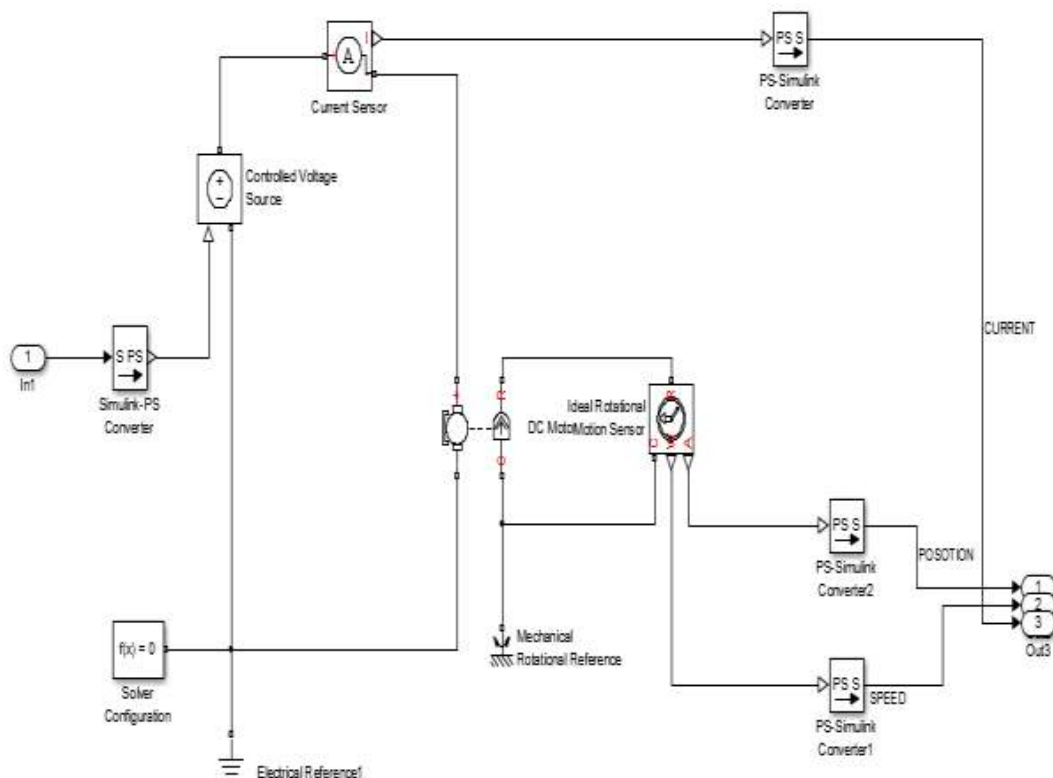
Gambar 10.2 Diagram Blok PID pada Kendali Posisi Motor DC

diagram blok kontrol PID ditunjukkan pada gambar 5.

Gambar 3. Subsystem LQR pada Kendali Posisi Motor DC

Gambar 6. Tampilan M-File dan tranfer function pada Kendali Posisi Motor DC

1.5 Tinjauan Pustaka 1.5.1 Model Matemaatis Motor DC Motor DC merupakan suatu perangkat elektronis pertama yang digunakan dalam sejarah industri perkembangan sistem transmisi daya untuk mengubah besaran listrik menjadi besaran mekanik. Prinsip Gambar 4. Tampilan M-File pada Kendali Posisi kerjanya apabila motor diberi daya maka arus akan Motor DC mengalir ke dalam motor dan menghasilkan torsi putar yang sebanding dengan arusnya. Motor dc diklasifikasikan menjadi 2 jenis utama berdasarkan 1.4.3 Perancangan Kendali PID sumber arus penguat magnetnya, yaitu motor dc Langkah sebelum merancang sebuah diagram penguat terpisah (separately excited dc motor) dan blok adalah menentukan nilai dari parameter  $K_p$ ,  $K_i$  motor dc penguat sendiri (self excited dc motor). Motor dan  $K_d$ . Parameter pengontrol Proporsional Integral dc penguat sendiri ini dapat dibedakan lagi menjadi derivatif (PID) selalu didasari atas tinjauan terhadap tiga jenis yaitu motor dc shunt (shunt wound dc karakteristik sistem yang diatur (plant) [1].Penentuan motor), motor dc seri (series wound dc motor), dan nilai parameter ini didapatkan dengan menggunakan motor dc kompon (compound wound dc motor). penalaan trial-error pada Matlab. Berikut merupakan



Gambar 10.3

```

EDITOR PUBLISH VIEW
v Open Save Find Files Compare Print EDIT NAVIGATE Breakpoints Run Ru
FILE BREAKPOINTS
riptlqr.m x
%PARAMETER
- r = 3;
- L = 3;
- b = 0.1;
- K = 0.1;
- J = 0.1;

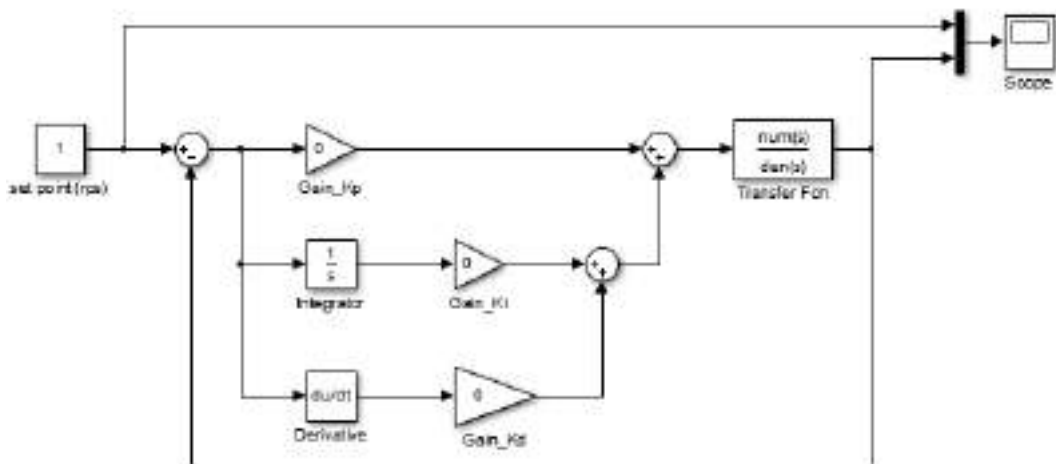
%STATESPACE
- A = [0 1 0 ; 0 -b/J K/J ; 0 -K/L -r/L];
- B = [0;0;1/L];
- C = [1 0 0];
- D = 0;

%LQR
- Q = [1000 0 0 ; 0 10 0 ; 0 0 0];
- R = 0.01;
- Klqr = lqr(A,B,Q,R);

%Nbar
- N = [A B ; C D];
- Nxu = inv(N)*[0;0;0;1];
- Nx = Nxu(1:3,1);
- Nu = Nxu(4,1);
- Nbar = Nu+Klqr*Nx;

```

Gambar 10.4



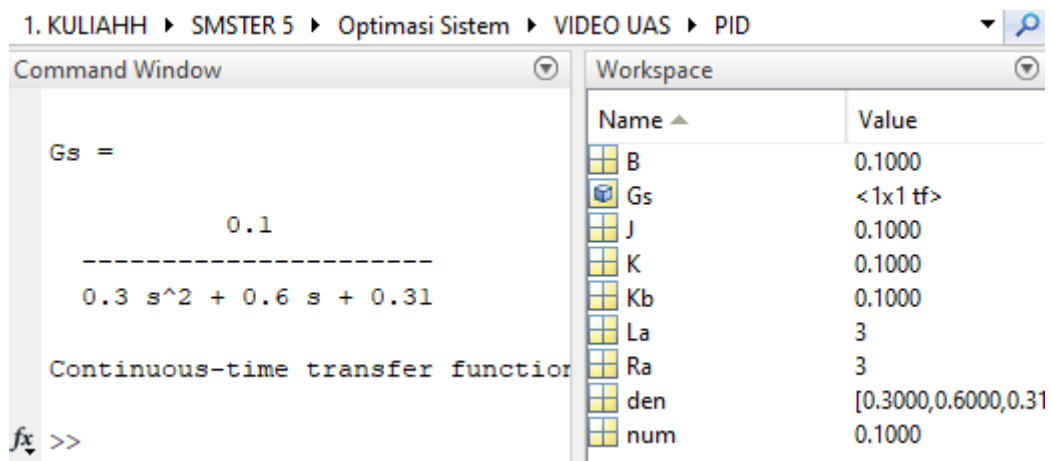
Gambar 10.5

```

PID.m x
1 - clear
2 - clc
3
4 - Ra = 3;
5 - La = 3;
6 - J = 0.1;
7 - B = 0.1;
8 - K = 0.1;
9 - Kb = 0.1;
10
11 - num = K;
12 - den = [La*J (La*B + Ra*J) (Ra*B+Kb*K)];
13
14 - Gs = tf(num,den)
15

```

Gambar 10.6

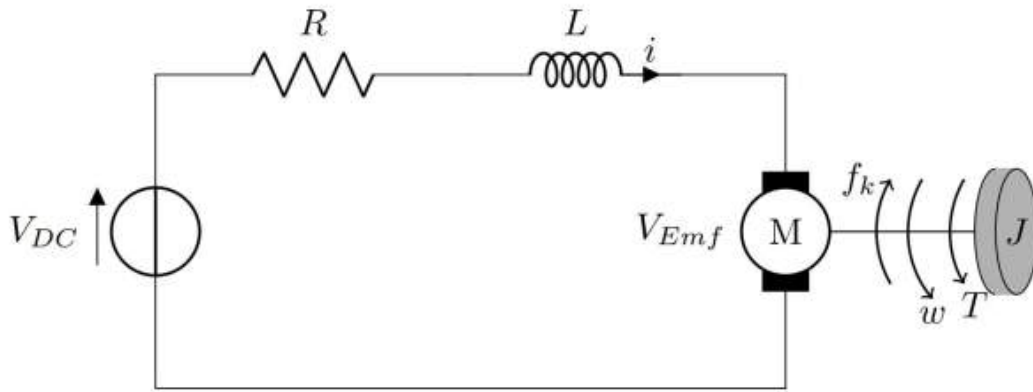


Gambar 10.7

Secara umum motor dc memiliki konstruksi yang yaitu bentuk dari sistem kendali ini dapat sama, terbagi atas dua bagian, yaitu : bagian yang diam menyediakan cara yang sistematis untuk menghitung dan bagian yang bergerak. Bagian yang diam disebut matrik penguat umpan balik keadaan (K) untuk stator dan bagian yang berputar/bergerak disebut rotor masukan (u) sebanyak m. Model motor DC yang digunakan adalah Bentuk umum dari persamaan keadaan adalah sebagai representasi fungsi alih (transfer function). Input berikut: sistem adalah tegangan yang diberikan pada motor DC  $dx/dt = Ax + Bu$  yaitu  $V$ . Sedangkan output sistem berupa kecepatan  $y = Cx + Du$  sudut motor DC yaitu omega ( $\omega$ ) y adalah output yang ingin dikendalikan. Tujuan LQR adalah meregulasi/membuat outputy menjadi nol dengan input seminimal mungkin. Tujuan ini dicapai dengan mendesain sebuah gain feedback K yang bisa meminimisasi cost function

$J = \int [y'(t) Q y(t) + u'(t) R u(t)] dt$ ,  $Q$  dan  $R$  adalah Gambar 7. Sirkuit listrik dari motor DC matrix weighing/pembobotan, dan kedua matrix ini harus berupa symmetric positive-definite. Pemodelan motor DC dapat dilakukan Sistem kendali LQR adalah: melalui 2 tahap analisis yaitu dengan pemodelan elektrik dan pemodelan mekanik. Masukan motor DC  $u = -Kx$  adalah tegangan DC dan keluaran motor DC adalah  $K$  dapat diperoleh dari: kecepatan, serta torsi dari motor DC. Pemodelan elektrik motor DC dengan menggunakan analisis  $K = \text{inv}(D'QD+R) (B'P+D'QC)$  hukum kirchoff tentang tegangan diperoleh persamaan dan  $P$  adalah solusi dari persamaan aljabar Ricatti: dalam domain frekuensi sebagai  $0 = A'P + PA + C'QC - (PB+C'QD) \text{inv}(D'QD+R) VDC - Ke \omega (B'P+D'QC) I = R + LS$  Biasanya, output  $y$  yang ingin dibuat nol adalah sama dengan  $I$  adalah arus listrik,  $VS$  adalah tegangan suplai, dengan seluruh state  $x$ . Jadi,  $C = I$  (matrix identitas)  $R$  adalah resistansi,  $L$  adalah induktansi,  $\omega$  adalah dan  $D = 0$ . Dengan ini, sistem kendali menjadi:  $\omega$  dan  $K$  adalah konstanta back EMF. Serta pemodelan mekanik motor DC menggunakan  $K = \text{inv}(R) B'P$  pendekatan hukum Newton tentang rotasi diperoleh  $0 = A'P + PA + Q - PB \text{inv}(R) B'P$

$\omega(Js + b) = Kt I$  Desain LQR yang telah dijabarkan adalah desain untuk sistem kendali dengan rentang waktu yang tak dengan  $J$  adalah nilai inersia,  $b$  adalah konstanta gaya terhingga ( $t$  dari nol hingga  $t \rightarrow \infty$ ). Jika rentang gesek,  $K$  adalah konstanta torsi. Kedua persamaan waktunya berhingga, maka  $P$  harus dicari dari mekanik dan elektrik disubstitusi untuk memperoleh persamaan diferensial Ricatti: model kecepatan sudut motor DC sebagai berikut :  $dP/dt = A'P + PA + C'QC - (PB+C'QD) K \text{inv}(D'QD+R) (B'P+D'QC) Gs = (La s + Ra) + (Js + B) + Kb K$  Persamaan ini harus diselesaikan secara numerik dari 1.5.2 Kendali Optimal Linier Quadratic  $t = t_f$  ke  $t = 0$ , di mana  $t_f$  adalah waktu final kendali. Regulator (LQR) Pada sistem waktu yang berhingga ini,  $P$  berubah- LQR adalah sebuah kendali optimal yang ubah terhadap waktu sehingga feedback gain  $K$  juga bertujuan membawa state akhir ke titik nol dengan berubah-berubah terhadap waktu. Lain halnya dengan meminimalkan cost fuction. Jenis kendali ini bertujuan sistem yang memiliki waktu yang panjang/tak mencari nilai gain state feedback ( $K$ ). Linear berhingga, nilai  $P$  selalu sama sehingga  $K$  tidak Quadratic Regulator merupakan salah satu metode berubah-ubah terhadap waktu/time invariant. dalam perancangan sistem kontrol optimal. Keuntungan dari metode kendali kuadratis optimal



Gambar 10.8

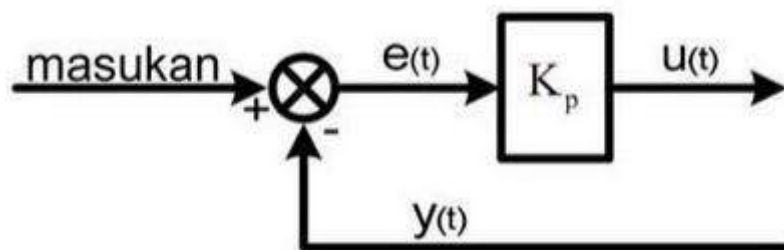
1.5.3 Kendali PID periode peralihan. Pada periode peralihan, kontrol Sistem Kendali PID (Proportional-Integral-derivatif menyebabkan adanya redaman pada sistem Derivative controller) merupakan kontroler untuk sehingga lebih memperkecil lonjakan. Seperti pada menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan kontrol proporsional, kontrol derivatif juga tidak dapat karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut menghilangkan offset. (feedback). Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. Kontrol proporsional berfungsi untuk Gambar 10. Diagram Blok Kontrol derivative memperkuat sinyal kesalahan penggerak (sinyal error), sehingga akan mempercepat keluaran sistem Gabungan dari ketiga kontroler tersebut menjadi mencapai titik referensi. Hubungan antara input kontrol PID [4]. Diagram Blok dari kontrol PID kontroler  $u(t)$  dengan sinyal error  $e(t)$  terlihat pada ditunjukkan pada gambar 11 persamaan  $u(t) = K_p e(t)$ .

$K_p$  adalah konstanta proporsional. Diagram blok kontrol proporsional ditunjukkan pada gambar 8

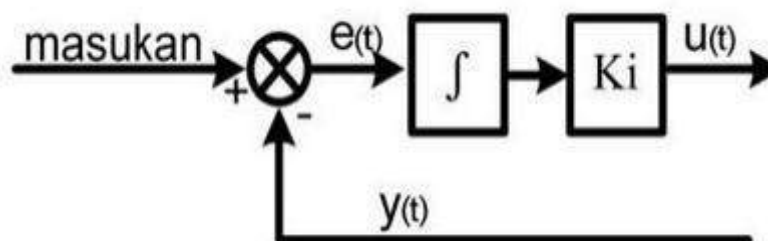
Gambar 11. Diagram Blok Kontrol PID Gambar 8. Diagram Blok Kontrol Sehingga persamaan untuk kontrol PID adalah Proporsional  $t de(t)$  Kontrol integral pada prinsipnya bertujuan untuk  $u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \dot{e}(t)$  menghilangkan kesalahan keadaan tunak (offset) yang biasanya dihasilkan oleh kontrol proporsional. Dengan : Hubungan antara output kontrol integral  $u(t)$  dengan  $u(t)$  = sinyal output pengendali PID sinyal error  $e(t)$  terlihat pada persamaan :  $K_p$  = konstanta proporsional  $K_i$  = konstanta integral  $t K_d$  = konstanta derivatif  $u(t) = K_i \int e(t)dt$   $e(t)$  = sinyal error 0

1.5.4 Light Dependent Resistor (LDR) LDR adalah sebagai salah satu komponen listrik yang peka cahaya, piranti ini bisa disebut juga sebagai fotosel, fotokonduktif atau

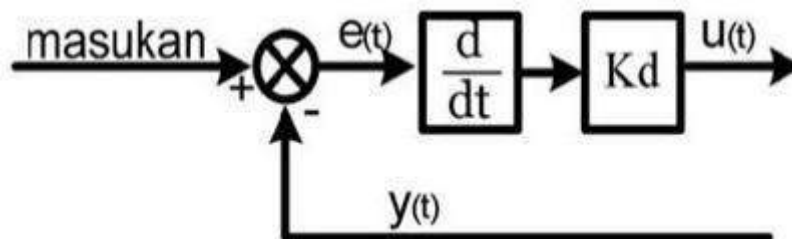
fotoresistor. LDR memanfaatkan bahan semikonduktor yang karakteristik listriknya berubah-ubah sesuai dengan Gambar 9. Diagram Blok Kontrol Integral cahaya yang diterima. Bahan yang digunakan adalah Kadmium Sulfida (CdS) dan Kadmium Selenida Kontrol derivatif dapat disebut pengendali laju, karena (CdSe). Bahan-bahan ini paling sensitif terhadap output kontroler sebanding dengan laju perubahan sinyal error. Hubungan antara output kontrol derivatif cahaya dalam spektrum tampak, dengan puncaknya  $u(t)$  dengan sinyal error  $e(t)$  terlihat pada persamaan sekitar  $0,6 \mu\text{m}$  untuk CdS dan  $0,75 \mu\text{m}$  untuk CdSe. Sebuah LDR CdS yang tipikal memiliki resistansi dibawah ini :  $de(t)$  sekitar  $1 \text{ M}\Omega$  dalam kondisi gelap gulita dan kurang  $u(t) = Kd$  dari  $1 \text{ K}\Omega$  ketika ditempatkan dibawah sumber cahaya  $dt$  terang. Blok kontrol derivatif ditunjukkan pada Gambar Dengan kata lain, resistansi LDR sangat 10, Kontrol derivatif tidak akan pernah digunakan tinggi dalam intensitas cahaya yang lemah (gelap), sendirian, karena kontroler ini hanya akan aktif pada sebaliknya resistansi LDR sangat rendah dalam



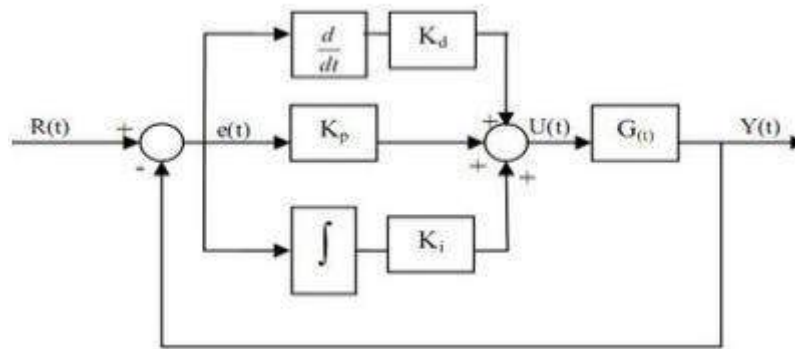
Gambar 10.9



Gambar 10.10



Gambar 10.11



Gambar 10.12

intensitas cahaya yang kuat (terang). Untuk menghitung tegangan keluaran pada LDR digunakan persamaan berikut :

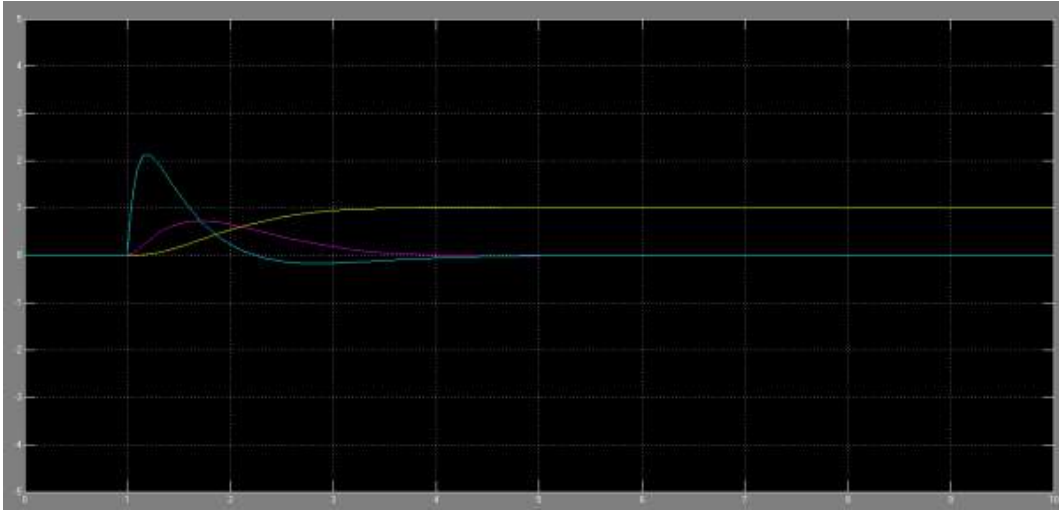
$LDR V_0 = V_{cc} (2) LDR + R_1$  Dimana :  $V_0$  = Tegangan Keluaran LDR = Resistansi LDR  
 $R_1$  = Resistor Gambar 14. Saat  $Q = (1000 \ 0 \ 0 ; 0 \ 10 \ 0 ; 0 \ V_{cc} =$  Tegangan Masuk  $0 \ 0)$  dan  $R = 0.01$  Grafik diatas merupakan hasil pengujian pada 2 PEMBAHASAN dengan menggunakan kendali LQR. Garis kuning Untuk mengetahui kestabilan sistem dan respon merupakan garis kestabilan dari respon sistem LQR. sistem terbaik maka dilakukan pengujian terhadap Pada gambar 12 diketahui bahwa respon tidak terlalu bagus akan tetapi telah mencapai set point. Kemudian kedua kendali yakni LQR maupun PID. pada gambar 13 diketahui bahwa respon sistem semakin melambat. Sistem mencapai kestabilan dan 2.1 Pengujian Hasil Matriks Q dan Matriks R respon sistem terbaik terlihat pada gambar 14. Pada pada Matlab gambar 14 garis kuning menunjukkan telah mencapai Tujuan dari pengujian ini adalah untuk set point dan sistem stabil pada detik ke 2. memperoleh nilai matriks Q dan matriks R. Pemilihan matriks Q dan matriks R diperoleh dengan cara coba – coba (trial and error) yaitu dengan mengubah – ubah 2.2 Pengujian Hasil Kontrol PID pada Matlab nilai dari matriks Q dan matriks R dengan mengatur Langkah selanjutnya adalah pengujian untuk nilai set point = 1. mendapatkan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Pengujian nilai parameter ini didapatkan dengan menggunakan penalaan trial-error pada Matlab dengan mengatur nilai set point = 1. Hasil pengujian respon sistem dapat dilihat pada gambar grafik dibawah

Gambar 12. Saat  $Q = (100 \ 0 \ 0 ; 0 \ 10 \ 0 ; 0 \ 0 \ 10)$  dan  $R = 0.01$

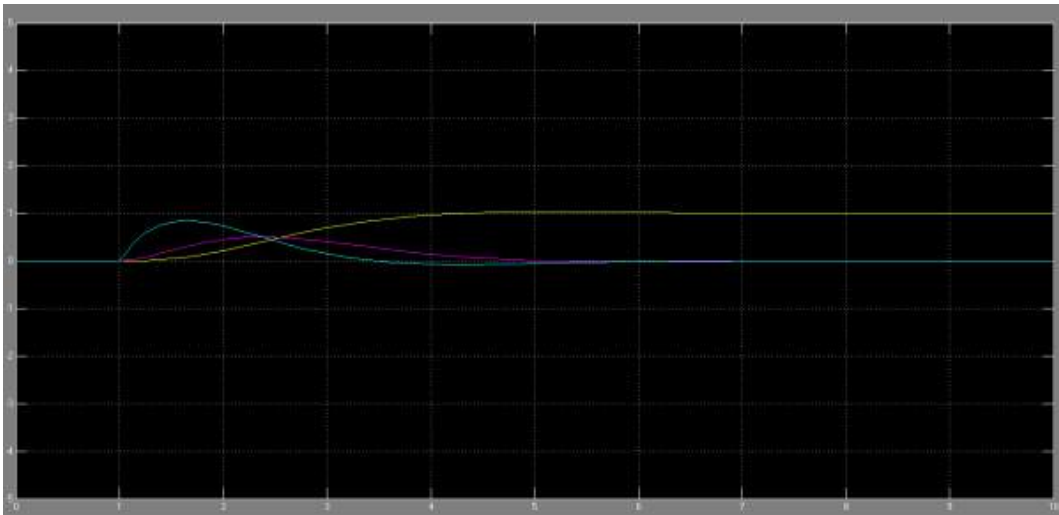
Gambar 15. Grafik PID kondisi awal sebelum dimasukkan nilai parameter

Gambar 13. Saat  $Q = (100 \ 0 \ 0 ; 0 \ 10 \ 0 ; 0 \ 0 \ 10)$  dan  $R = 1$

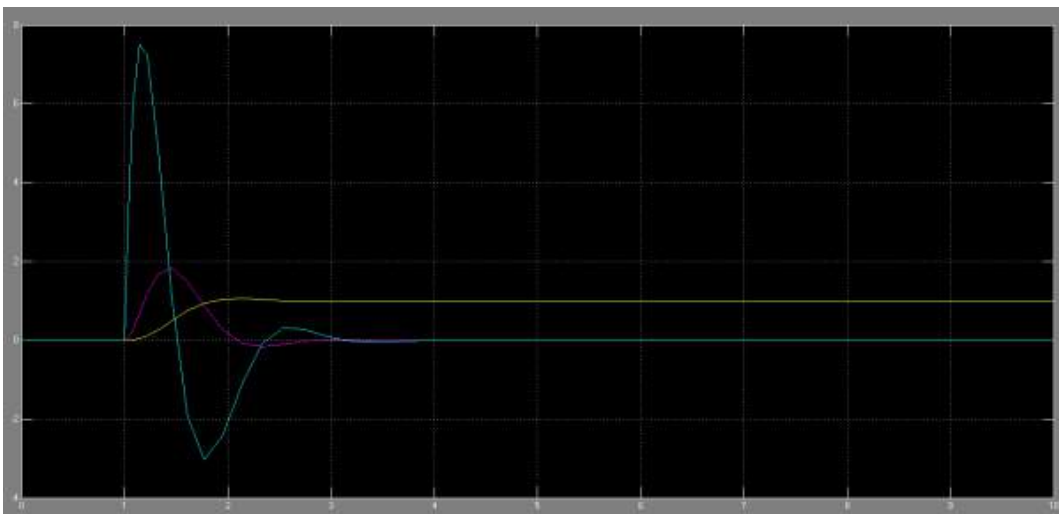
Gambar 16. Saat  $K_p = 10$ ,  $K_i = 20$ , dan  $K_d = 2$



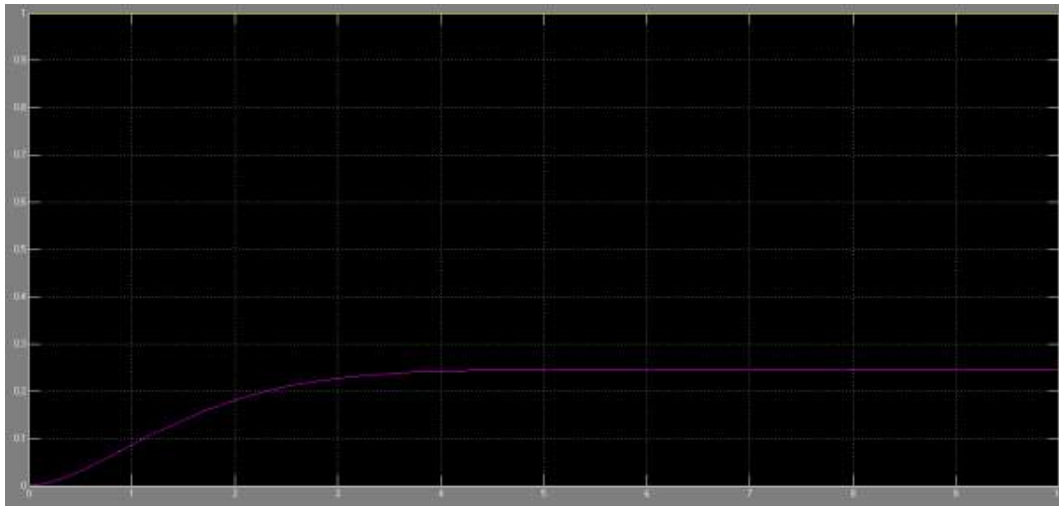
*Gambar 10.13*



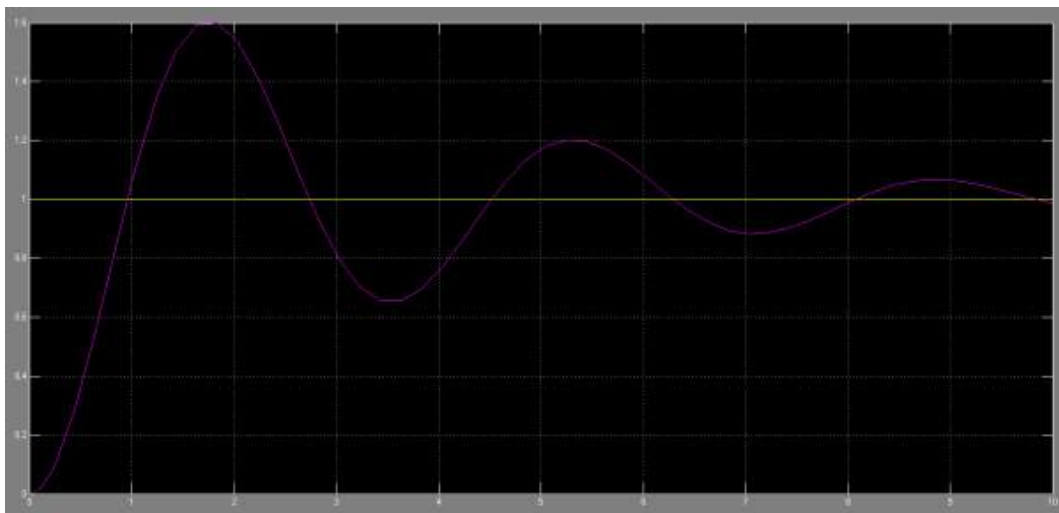
*Gambar 10.14*



*Gambar 10.15*



Gambar 10.16



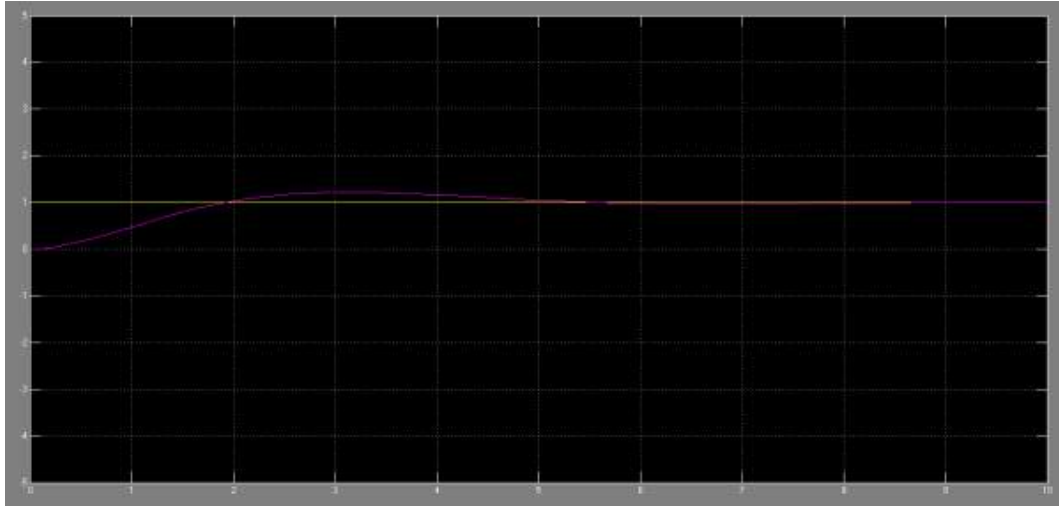
Gambar 10.17

3 KESIMPULAN Setelah melakukan tahap perencanaan dan pengujian sistem , maka dapat ditarik kesimpulan bahwa : 1. Kendali LQR dan PID mampu untuk menghasilkan nilai respon sistem terbaik dan stabil dengan posisi sesuai keinginan. 2. Kendali LQR dapat mencapai kestabilan atau konstan dan respon sistem terbaik pada saat  $Q = \begin{pmatrix} 1000 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$  dan  $R = 0.01$  pada detik Gambar 17. Saat  $K_p = 10$ ,  $K_i = 5$ , dan  $K_d = 2 \text{ ke-}2$ . 3. Kendali PID dapat mencapai kestabilan atau konstan dan respon sistem terbaik dengan nilai  $K_p = 10$ ,  $K_i = 5$ , dan  $K_d = 2$  pada detik ke-4 4. Perbandingan untuk waktu respon sistem saat mencapai kestabilan adalah kendali LQR menghasilkan konstanta waktu respon sistem lebih cepat sebesar 2x dibandingkan dengan respon sistem kendali PID.

Gambar 18.Saat  $K_p = 5$ ,  $K_i = 5$ , dan  $K_d = 2$  PUSTAKA [1] Apriaskar, E., Azis Salim, N., & Prastiyanto, Grafik diatas merupakan hasil pengujian dengan D. (2019). Performance Evaluation of Balancing menggunakan parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ . Sebelumnya Bicopter

using P, PI, and PID Controller. Jurnal dilakukan pengujian saat sebelum dimasukkannya Teknik Elektro, 11(2), 44–49. nilai parameter PID hasil grafik dapat dilihat pada [2] Fahmizal, F., Fathuddin, F., & Susanto, R. gambar 15. Pada gambar 15 diketahui respon masih (2018). Identifikasi Sistem Motor DC dan Kendali belum mencapai set point dan terdapat undershoot. Linear Quadratic Regulator Berbasis Arduino- Selanjutnya pada gambar 16 mulai dimasukkan nilai Simulink Matlab. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, parameter  $K_p = 10$ ,  $K_i = 20$ , dan  $K_d = 2$  akan tetapi 17(2), 299–306. dapat dilihat respon sistem belum mencapai [3] Febriawan, A., & Aji, W. S. (2020). Rotating kestabilan karena masih terdapat osilasi, large Control on Robots Indonesian Abu Robot Contest with overshoot, dan terdapat undershoot. Selanjutnya pada PID and IMUBNO055 Controls. Buletin Ilmiah gambar 17, nilai dari  $K_i$  menjadi 5 dan respon Sarjana Teknik Elektro, 2(1), 14–23. menunjukkan kestabilan atau konstan dengan nilai [4] .

*Gambar 10.18*



*Gambar 10.19*

## Daftar Pustaka

- [1] Nugraha, AT. "Penggunaan Algoritma Interferensi Dan Observasi Pada Sistem Pelacak Titik Daya Maksimum Pada Sel Surya Menggunakan Konverter DC-DC Photovoltaics." *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi* 1.1, 2021, pp. 10-19.
- [2] Ihsanudin, Y, Hidayat, EP and Nugraha, AT. "Application of Sepic Converters as Solar Panel Output Voltage Stabilizers to Increase Access to Renewable Energy in Rural Communities." *Maritime in Community Service and Empowerment* 2.1, 2024, pp. 40-45.
- [3] Nugraha, AT. "Buku Organisasi dan Arsitektur Komputer.", 2024
- [4] Nugraha, AT, Saputra, DBD, Sobhita, RA and Ashlah, MB. "Photovoltaics Concept Integrated on the Grid With the STT-PLN Building." *MEIN: Journal of Mechanical, Electrical & Industrial Technology* 1.1, 2024, pp. 12-16.
- [5] Budi, FS, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Comparison of LQR and LQT Control of Uncertain Nonlinear Systems." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1, 2025, pp. 10-17.
- [6] Nugraha, AT, Sari, DP, Anindita, G, Setiawan, E, diyah, AS, Asri, P and .... "Buku Harmoni Laut: Pelestarian Penyu Mutiara dan Kolaborasi.", 2024
- [7] Caesarendra, W. "Triwiyanto Triwiyanto Achmad Rizal."
- [8] Nugraha, AT. "Desain kontrol path following quadcopter dengan command generator tracker model following." *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2017
- [9] Nugraha, AT, Ramadhan, MF, Shiddiq, MJ and Fathurrohman, MF. "Comparison of Insulated Switch Gear with Desiccant Addition to SF6 Gas Quality System at Waru Substation." *JEEMECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science ...)*, 2023
- [10] Tamimah, N, Sa'diyah, A, Ramadani, TA, Kusminah, IL, Sari, DP and .... "Penerapan Filtrasi Anaerobik di Masjid Sungai Geneng, Lamongan." *Jurnal Cakrawala Maritim* 8.1, 2025, pp. 105-114.
- [11] Yuniza, SI, Agna, DIY and Nugraha, AT. "The design of effective single-phase bridge full control resistive load rectifying circuit based on MATLAB and PSIM." *International Journal of Advanced Electrical and Computer Engineering* 3.3, 2022
- [12] Apriani, M, Astuti, UP, Nugraha, AT and Atiqoh, VZ. "Daur Ulang Tutup Botol Bekas Menjadi Media Biofilter Dengan Lubang Lingkaran Sebagai Pengolah Limbah Restoran." *ID Patent* EC00,202,312,633, 2023
- [13] Nugraha, AT, Pratiwi, OD, As'ad, RF and Athavale, VA. "Brake current control system modeling using linear quadratic regulator (lqr) and proportional integral derivative (pid)." *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical ...*, 2022

- [14] Ningsih, SR, Budi, AHS, Nugraha, AT and Winata, T. "Automatic farmer pest repellent with Arduino ATmega2560 based on sound displacement technique." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 850.1, 2020, p. 12034.
- [15] Nugraha, AT, Mudjiono, U, Subiyanto, L, Widodo, HA, Hidayat, EP and .... "TRAINER KIT KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM DISTRIBUSI PT. X MENGGUNAKAN TEORI GRAPH." Seminar MASTER PPNS 8.1, 2023, pp. 1-8.
- [16] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Agna, DIY, Ashlah, MB, Fathurrohman, MF and .... "Analisis Optimalisasi Penggunaan Konverter CUK Pada PLTA Menggunakan Simulasi Proteus." Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application 3.1, 2023, pp. 62-67.
- [17] Nugraha, AT, Yuniza, SI, Fathurrohman, MF, Novsyafantri, Purba, JV and .... "ALAT PENJEMUR KOPI DENGAN KENDALI LQR-PID." Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application 2.1, 2022, pp. 72-77.
- [18] Nugraha, AT, Eviningsih, RP, Riyadi, F, Sheila, SY, Prmaudika, AES and .... "PERANCANGAN CUK CONVERTER DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI PSIM UNTUK PENERAPAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU." Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application 3.1, 2023, pp. 78-85.
- [19] Jamaludin, M and Nugraha, AT. "Optimizing the Output System of PG36M555 DC Carbon-Brush Motors Using LQR and LQT Methods in MATLAB Simulink." Journal of Electrical, Marine and Its Application 1.1, 2023, pp. 1-8.
- [20] Nugraha, AT, Farikh, MDI, Agna, DIY and ad, RF As'. "Penyearah Terkontrol Satu Fasa Gelombang Penuh terhadap Motor DC 3 HP." Elektriese: Jurnal Sains Dan Teknologi Elektro 13.1, 2023, pp. 42-49.

## BAB XI

# Sistem Kendali Eddy Current Brake Dinamometer Menggunakan Linear Quadratic Regulator (LQR)

Oleh: **Oktavinna Dwi Pratiwi**

*Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*

**Kata Kunci:** *Eddy brakes, PID, LQR, Matlab*

Makalah ini memberikan analisis perbandingan antara teknik kendali klasik yaitu kendali PID dengan teknik kendali modern pada sistem Eddy current brakes dinamometer. Eddy current brakes merupakan sistem pengereman modern yang membutuhkan sebuah sistem kendali untuk menunjang kinerja pengereman. Selama ini kendali PID lebih sering digunakan, namun di beberapa kondisi dinilai kurang optimal. Dengan demikian, diperlukan pengembangan kendali yang modern dan optimal yaitu full state feedback Linear Quadratic Regulator (LQR). Perbandingan respon waktu pengereman disimulasikan menggunakan Matlab/Simulink. Hasil simulasi menunjukkan respon waktu pengereman pada kendali LQR lebih baik dibandingkan dengan kendali PID, dengan  $T_s = 2.12$  detik,  $T_r = 1.18$  detik, dan tanpa overshoot. Adapun kendali PID, meskipun menghasilkan  $T_s = 0.27$  detik dan  $T_r = 0.18$  detik, namun demikian masih terdapat overshoot sebesar 0.7%.

**ABSTRACT** This paper provides a comparative analysis between PID control as a classical control technique and modern control technique in the dynamometer Eddy current brakes system. Eddy current brakes is a modern braking system that requires a control system to support the braking performance. PID control is often used to be implemented but in some conditions it is less optimal. Therefore, it is necessary to develop a modern and optimal control, such as a full state feedback Linear Quadratic Regulator (LQR). The comparison of the braking time responses were simulated using Matlab/Simulink. The simulation results show that the response of LQR control is better than the PID, with  $T_s = 2.12$  seconds,  $T_r = 1.18$  seconds, and without overshoot. On the other side, PID control, although having  $T_s = 0.27$  seconds and  $T_r = 0.18$  seconds, there is still an overshoot about 0.7%.

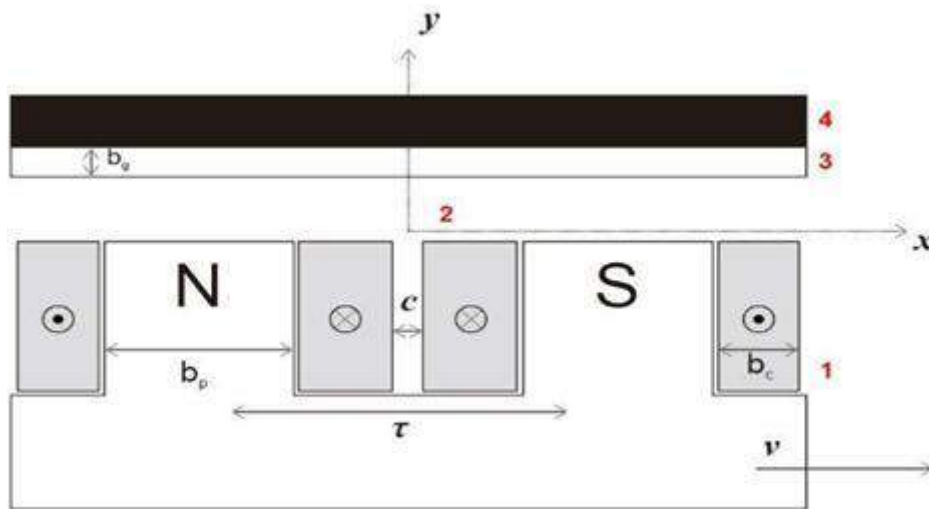
1. PENDAHULUAN kecepatan yang tinggi, kondisi yang cepat, stabil dan 1.1 Latar Belakang akselerasi yang mudah dikendalikan. Sehingga Berisi Perkembangan sektor otomotif khususnya di menjadikan Eddy current brakes dinamometer ini Indonesia berkembang cukup pesat dalam beberapa sangat fleksibel dan ideal untuk pengujian performa dekade ini, khususnya pada sektor mesin kendaraan. mesin dibandingkan dengan

dinamometer inersia Dalam dunia otomotif setiap mesin memiliki (Nunes & Brojo, 2020). Sistem Eddy current karakteristik dan kemampuan yang berbeda mulai brakes dinamometer memanfaatkan arus yang dari tenaga mesin, torsi mesin, dan emisi bahan ditimbulkan oleh adanya perubahan fluks magnetis bakar mesin tersebut. Oleh karena itu digunakanlah pada piringan konduktor sebagai pemicu untuk dinamometer sebagai alat yang dapat memberikan menciptakan gaya pengereman pada pengelasan informasi karakteristik dari sebuah mesin. Alat performa mesin (Cho, dkk, 2017). Parameter waktu, tersebut dapat digunakan untuk menganalisis besarnya gaya pengereman, dan kestabilan sistem performa mesin lebih lanjut. Secara umum, terdapat saat pengereman merupakan parameter yang dua tipe percobaan yang dilakukan untuk dianalisis untuk mendapatkan kinerja Eddy current mendapatkan performa mesin yaitu constant brakes brakes dinamometer yang optimal. testing dan maximum brakes testing (Nahari, dkk, Untuk mendapatkan kinerja respon waktu 2012). Guna mendukung kinerja pengereman pengereman yang sesuai kriteria, maka diperlukan dinamometer yang optimal, maka digunakanlah desain sistem kendali yang optimal. Desain kendali sistem Eddy current brakes dinamometer. yang masih umum digunakan dalam industri adalah Eddy current brakes dinamometer dipilih karena kendali klasik PID. Beberapa pertimbangan mampu memberikan laju perubahan beban yang pemanfaatan metode kendali ini adalah karena cepat, memiliki pengereman yang baik pada mudah dan fleksibel untuk dirancang dan

diimplementasikan (Apriaskar, dkk, 2019) 2. Apakah pengendali LQR lebih baik dan (Munadi, dkk, 2020). Namun kendali PID dalam optimal daripada pengendali PID untuk respon beberapa kondisi dinilai belum optimal dalam waktu pengereman pada Eddy current brakes mengendalikan plant seperti Eddy current brakes dinamometer . dinamometer. Beberapa penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan kendali PID, umumnya 1.3 Tujuan mengarah pada optimasi tuning parameter kendali 1. Untuk mengetahui LQR dan PID dapat (Alkhafaji, dkk, 2018)(Rao, dkk, 2020). Namun menunjang kinerja dari Eddy current brakes demikian, untuk menghasilkan suatu sistem kendali dinamometer . yang optimal, pengendali yang berbasis full state 2. Untuk mengetahui bahwa LQR ternyata lebih feedback juga dapat digunakan. Dalam beberapa kasus pengendali berbasis full baik dan optimal daripada pengendali PID untuk state feedback memiliki respon yang lebih baik jika respon waktu pengereman pada Eddy current dibandingkan dengan pengendali PID. Sebagaimana brakes dinamometer . penelitian yang dilakukan oleh (Ma'arif & Setiawan, 2021), menggunakan metode kendali 2. METODE SISTEM integral state feedback untuk studi kasus Eddy current brakes dengan kemampuan pengendalian motor DC. Pada penelitian tersebut, pengereman

menggunakan komponen pengujian dilakukan secara implementasi elektromekanikal yang dapat dikatakan sebagai menggunakan embedded system Arduino. Hasil sistem pengereman yang lebih modern dibandingkan pengujian menunjukkan pengendali yang berbasis dengan sistem pengereman secara mekanik full state feedback memiliki respon yang lebih baik (Gulbahce, dkk, 2013). Sistem pengereman dari pada PID karena waktu yang dibutuhkan untuk menggunakan Eddy current brakes dinamometer mencapai nilai referensi lebih cepat. Penelitian memberikan kecepatan pengereman yang lebih terkait lain dilakukan oleh (Handaya & Fauziah, responsif pada kondisi kecepatan yang tinggi, lebih 2021) yang membandingkan performa pengendali awet karena tidak melibatkan komponen mekanik PID dan full state feedback Linear Quadratic yang memerlukan perawatan khusus, dan model Regulator (LQR) untuk kontrol posisi motor DC. Eddy current brakes dinamometer sangat mudah Pada penelitian tersebut pengendali LQR memiliki untuk dikendalikan menggunakan berbagai jenis performa yang lebih baik, khususnya dari sisi kendali (Brin, 2013). Struktur dari model Eddy kriteria settling time dan overshoot yang lebih kecil. current brakes terdiri dari bagian piringan konduktor Perbandingan antara PID dan LQR juga telah yang berputar dan bagian coil yang dialiri arus atau dilakukan oleh (Houari, dkk, 2020) untuk studi permanen magnet untuk menciptakan medan magnet kasus kontrol pada tilt rotor airplane. Penelitian pada bagian piringan konduktor (Chen, dkk, 2019). tersebut juga menghasilkan hasil yang positif untuk Jika dilihat berdasarkan strukturnya Eddy current pengendali LQR dilihat dari kriteria overshoot dan brakes dibagi menjadi empat bagian seperti pada response time. Oleh karena itu, penggunaan Gambar 1, dengan keterangan sebagai berikut: (1) pengendali LQR untuk sistem Eddy current brakes core dan exciting coil, (2) celah tanpa udara, (3) dinamometer sebagai pengembangan desain kendali piringan besi dan (4) sisi luar piringan besi. kearah yang lebih modern layak untuk diuji guna mendapatkan respon waktu pengereman yang optimal. Makalah ini membahas simulasi perancangan kendali pada sistem Eddy current brakes dinamometer menggunakan metode kendali LQR. Simulasi dibangun menggunakan software Matlab. Model sistem Eddy current brakes yang digunakan adalah dalam bentuk state space. Pengamatan respon sistem dengan dan tanpa pengendali menggunakan fitur Simulink pada Matlab. Dari hasil pengamatan Keterangan: respon tersebut, kemudian dilakukan analisis a) Core dan exciting coil terhadap perbandingan hasil respon antara b) Celah tanpa udara menggunakan kendali klasik PID dengan kendali c) Piringan besi optimal LQR. d) Sisi luar piringan besi Gambar 1. Model Dua Dimensi Sistem Eddy 1.2 Rumusan Masalah Current Brakes 1. Apakah pengendali LQR dan pengendali PID dapat menunjang kinerja dari Eddy current Sistem kinerja dari

Eddy current brakes brakes dinamometer dinamometer adalah ketika disc piringan besi yang terhubung dengan shaft mesin berputar dan 1

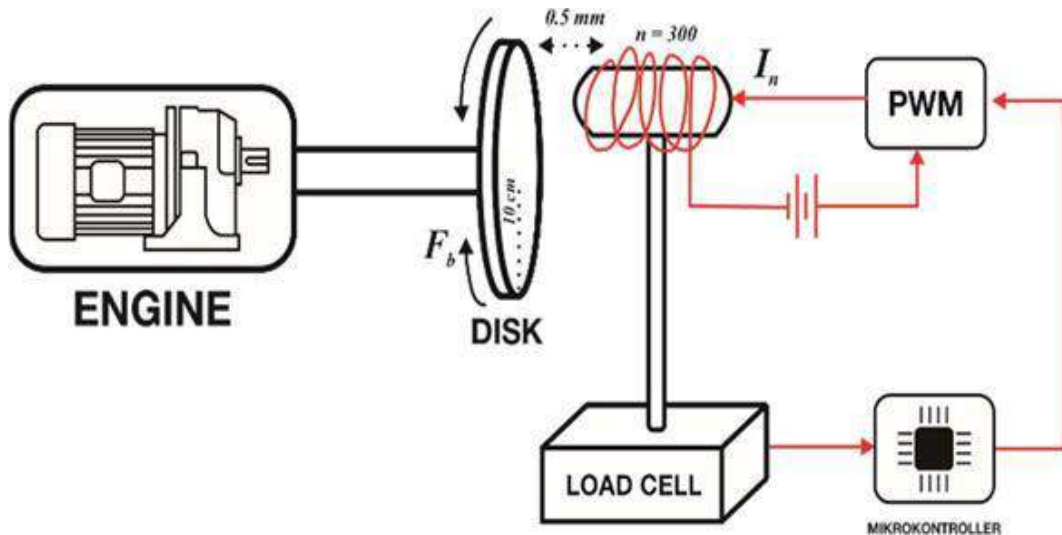


Gambar 11.1

diberikan input gaya pengereman sistem akan (N), D adalah elektromagnetik pole diameter (m), d mendeteksi besarnya gaya pengereman melalui adalah disk thickness (cm), B adalah induksi sensor Load cell. Sensor ini berfungsi sebagai magnetik (Tesla), c adalah faktor proportional,  $\omega$  pendeteksi besarnya gaya pengereman yang adalah kecepatan sudut (RPM), x adalah jarak disk dikonversi dalam bentuk sinyal analog, kemudian dan pole (m) dan R adalah disk radius (m). sinyal tersebut menjadi variabel yang akan dideteksi oleh mikrokontroller. Setelah feedback dari load cell data diproses pada mikrokontroller untuk dilihat kestabilan respon pengereman sistem. Eddy current merupakan arus yang muncul akibat adanya perubahan fluks magnetik yang terjadi pada sebuah konduktor (Nahari, dkk, 2012), dimana konduktor Dari semua spesifikasi dapat ditemukan persamaan merupakan iron disk dengan diameter 10 cm yang hubungan antara arus (I) dengan gaya pengereman terintegrasi dengan shaft pada sebuah mesin (F) seperti pada Persamaan (4). Desain pemodelan (dinamo). Menurut hukum Lenz, Eddy current sistem Eddy current brakes dinamometer yang menciptakan medan magnet yang arahnya direpresentasikan dalam bentuk state space dan berlawanan dengan perubahan medan magnet yang fungsi alih berdasarkan penurunan dari Persamaan menciptakannya. Oleh karena itu, Eddy current (2)-(3) menjadi Persamaan (5) untuk pemodelan dimanfaatkan sebagai gaya pengereman state space dan fungsi alih pada pada Persamaan (6). dinamometer (Fb). Gaya Fb ini muncul diantara  $I = 2.106 \ln ( F ) + 5.288$  (4) vektor medan magnet dan Eddy current. Dalam kondisi kecepatan rendah putaran piringan besi induksi magnetik menyebabkan Eddy current sangat kecil sehingga dapat diabaikan dikarenakan induksi magnetis hampir tegak lurus Melalui

pemodelan dengan menggunakan state terhadap piringan besi. Pada kondisi kecepatan space dan fungsi alih dapat dianalisis respon sistem menengah akan menghasilkan gaya pengereman yang gaya pengereman secara open loop untuk lebih besar dibandingkan sebelumnya sehingga mendapatkan karakteristik transien respon sistem induksi pada kutub  $< B_0$  (induksi magnetik awal). awal sebelum merancang desain kendali Pada kondisi kecepatan tinggi mengakibatkan menggunakan PID ataupun LQR. Model open loop induksi pada kutub dari Eddy current  $> B_0$  sehingga dalam bentuk state space dari sistem Eddy current nilai induksi magnetik awal dapat diabaikan. Skema brakes dinamometer yang direpresentasikan pada desain Eddy current brakes ditunjukkan pada blok Simulink ditunjukkan pada Gambar 3. Tujuan Gambar 2, dengan beberapa parameter yang analisis dari kedua jenis pengendali PID dan LQR disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan pemodelan adalah untuk membandingkan respon sistem yang sistem, total gaya pengereman Eddy current brakes paling optimal untuk mencapai kriteria respon diformulasikan seperti pada Persamaan (1). sistem.  $F = \int \int \int (1)$

Tabel 1. Parameter Desain Sistem Eddy Current Brakes Gambar 3. Blok Simulink Sistem Eddy Current Parameter Nilai Brakes Dinamometer Open Loop Ketebalan disk (d) 1 cm Kecepatan sudut ( $\omega$ ) 3000 RPM 3. PERANCANGAN SISTEM KENDALI Jarak disk dan pole (x) 0.5 m Setelah didapatkan karakteristik dalam kondisi open loop maka, dilakukan perancangan kendali PID dan LQR. Perancangan kendali dilakukan dengan berdasarkan penerapan teori kajian literatur sebagai dasar perancangan kendali sistem Eddy current brakes dinamometer pada simulasi Matlab/Simulink, berikut ini merupakan dasar persamaan yang digunakan untuk perancangan kendali. 3.1 Kendali Proporsional Integral Derivatif (PID) Gambar 2. Skema Desain Eddy Current Kendali proporsional, integral dan derivatif (PID) Brakes Dinamometer merupakan tipe kendali yang digunakan umumnya Persamaan (2) dan (3) merupakan hasil penyelesaian pada sistem single input dan single output (SISO). persamaan gaya pengereman total pada Eddy Sistem kendali tersebut akan membandingkan sinyal current brakes. Dengan F adalah gaya pengereman kesalahan (error) dengan sinyal masukan (set point) 1



Gambar 11.2

$$F = 0.25 \frac{\pi}{4} D^2 dB^2 c \omega \quad (2)$$

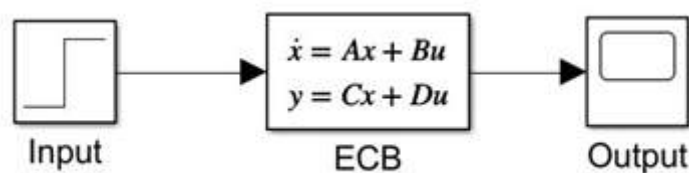
$$c = 0.5 \left[ 1 - \frac{0.25}{\left(1 + \frac{\pi}{R}\right)^2 \left(\frac{R-x}{D}\right)^2} \right] \quad (3)$$

Gambar 11.3

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -2.029 & -2.826 \\ 4 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix} u(t); \quad y = [0 \quad 1.413] x(t) \quad (5)$$

$$G_{(s)} = \frac{11.304}{s^2 + 2.029s + 11.304} \quad (6)$$

Gambar 11.4



Gambar 11.5

dengan menggunakan parameter proporsional, integral dan derivatif (Isdaryani, dkk, 2021). Kendali PID secara konvensional dibedakan menjadi dua tipe yaitu dependent pada Persamaan (7) dan independent pada Persamaan (8). Jika dinyatakan dalam fungsi alih dalam domain  $s$  menjadi pada Persamaan (9)-(10). Dengan  $u$  adalah output controller,  $e$  adalah nilai kesalahan,  $K_p$  adalah proportional constant,  $K_i$  adalah integral Gambar 4. Blok Simulink

Sistem Eddy Current constant dan Kd adalah derivative constant. Brakes Dinamometer dengan Kendali PID

3.2 Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR) Kendali proporsional Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR) merupakan optimalisasi sistem dengan representasi state space. LQR memiliki struktur yang sama dengan pole placement yaitu menggunakan full state feedback, akan tetapi perbedaan antara LQR dan pole placement adalah bagaimana menentukan matriks K sebagai gain feedback (Fahmizal, dkk, 2019). Diagram blok Pencarian parameter konstanta Kp, Ki dan Kd untuk kendali sistem full state feedback LQR pada sistem pengendali PID mengadaptasi dari rumus Eddy current brakes dinamometer disajikan pada Ackermann pole placement pada Persamaan (12) Gambar 5. dengan persamaan karakteristik pada Persamaan (11).

Gambar 5. Blok Simulink Sistem Eddy Current Dimana  $\phi(A)$  adalah  $\phi(A) = A + \alpha_1 A^{n-1} + \dots + \alpha_{n-1} A + \alpha_n I$ , dan nilai gain full state feedback Ka pada Persamaan (12) adalah sebagaimana yang Pada kendali pole placement memiliki kelemahan ditunjukkan pada Persamaan (13). Dengan  $K^*$  untuk dalam pencarian matriks gain K yang digunakan menemukan parameter Kp, Ki dan Kd adalah untuk memindahkan pole sistem menuju ke pole sebagaimana yang terdapat pada Persamaan (14). yang diinginkan. Kelemahan tersebut merujuk pada aspek effort sistem yang seringkali tidak diperhatikan. Sehingga berakibat pada konsumsi energi kinerja aktuator yang tinggi pada saat berusaha untuk menstabilkan respon sistem. Melalui kendali LQR permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan matriks gain K yang diperoleh dari matriks Q dan R pada konsep sistem kendali LQR. Sistem kendali LQR memiliki Gambar 4 menunjukkan diagram blok state space kemampuan untuk mengoptimalkan matriks gain K pada Simulink untuk pengendalian plant sistem dengan mempertimbangkan faktor performance dan Eddy current brakes dinamometer dengan effort sistem dengan mengoptimalkan indeks menggunakan kendali PID. Sehingga perlu performansi sistem (Purnawan, dkk, 2017). Indeks dilakukan pembuatan persamaan sistem augmented performansi yang optimal didapatkan dengan seperti pada Persamaan (15). meminimalkan nilai indeks performansi pada Persamaan (16).

Melalui Persamaan (16) terdapat matriks Q real simetris yang merupakan positif definit (atau positif semidefinit) dan matriks R real simetris yang merupakan positif definit. Matriks Q digunakan untuk mengatur performa dari sistem sehingga 1

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int e(t) dt + \tau_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (7)$$

$$u(t) = \left[ K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (8)$$

$$u(s) = K_p \left[ 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right] e(s) \quad (9)$$

Gambar 11.6

$$|sI - A + BK_a| = (s - \mu_1)(s - \mu_2) \dots (s - \mu_n) = s^n + \alpha_1 s^{n-1} + \dots + \alpha_{n-1} s + \alpha_n \quad (11)$$

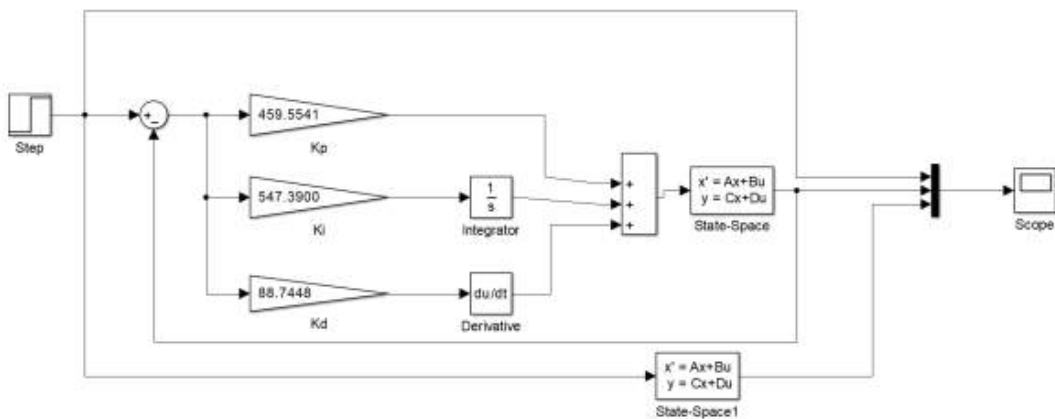
$$K_a = [0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 1] \begin{bmatrix} B \\ AB \\ \dots \\ A^{n-1}B \end{bmatrix} \phi(A) \quad (12)$$

Gambar 11.7

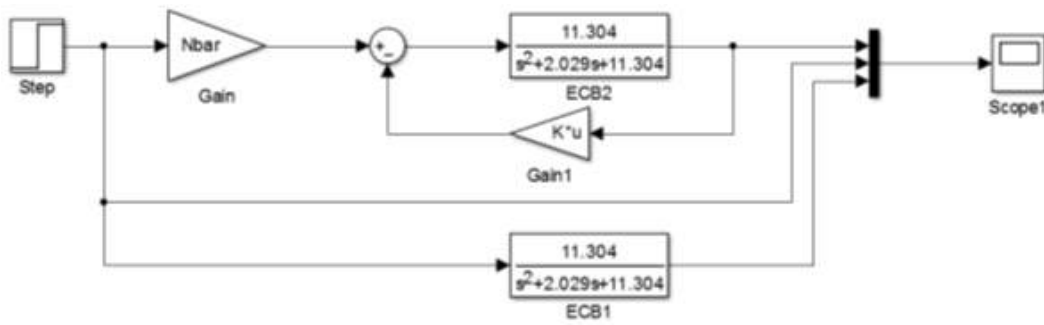
$$K_a = \begin{bmatrix} C & 0 \\ CA & CB \\ CA^2 & CAB \end{bmatrix} K \quad (13)$$

$$K = \begin{bmatrix} K_p \\ K_i \\ K_d \end{bmatrix} = (1 - K_a CB)^{-1} \begin{bmatrix} K_p \\ K_i \\ K_d \end{bmatrix} \quad (14)$$

Gambar 11.8



Gambar 11.9



Gambar 11.10

berhubungan dengan vektor state sistem, sedangkan error dengan gain reference input  $Nbar$  ( $N$ ) yang matriks  $Q$  berpengaruh pada nilai steady state error nantinya akan menghasilkan respon sistem yang pada tanggapan sistem, semakin besar nilai  $Q$  maka zero steady state error ketika diberikan input sinyal semakin kecil nilai steady state error. Matriks  $R$  step. Sehingga struktur desain sistem kendali dapat digunakan untuk memodifikasi setiap state input digambarkan seperti pada Gambar 5 yang pada sistem untuk mencapai gain yang diinginkan, dinotasikan dengan gain  $N$ . Nilai penguatan dapat hal ini akan berpengaruh pada efisiensi kinerja dihitung dengan Persamaan (20) dan (21), atau actuator untuk menstabilkan sistem. Matriks  $R$  akan dengan Persamaan (22) sebagai persamaan sinyal berperan untuk mengendalikan setiap state input kendali. Kemudian dapat diperoleh penguatan  $N$  pada sistem guna mengatur tingkat efisiensi effort pada Persamaan (23). suatu actuator. Melalui persamaan indeks performansi dapat dihitung nilai gain  $K$  dengan persamaan sebagaimana yang ditunjukkan pada Persamaan (17). Matriks  $P$  merupakan penyelesaian dari persamaan Riccati yang direpresentasikan pada Persamaan (18).

Dari semua perhitungan secara teoritical mulai dari pemodelan sistem, perancangan desain kendali PID dengan menentukan parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang Namun, adapun syarat yang harus dipenuhi sebelum diadaptasi dari persamaan Ackerman pole merancang desain kendali menggunakan LQR placement, kemudian perancangan kendali LQR adalah sistem harus bersifat controllable. Itu artinya dengan menentukan matriks  $Q$  dan matriks  $R$  untuk sinyal masukan  $u$  dapat mengontrol dinamika dari menentukan full state feedback gain  $K$  dan untuk setiap state vector variable  $x$ . Apabila sinyal mencapai kondisi zero steady state error masukan  $u$  tidak dapat mengendalikan dinamika menggunakan gain reference input dilakukan setiap state-nya akan berakibat pada pengaturan dengan komputasi pada Matlab. Hasil komputasi dinamika state menggunakan matriks  $Q$  yang tidak kemudian disimulasikan untuk setiap implementasi dapat mengatur performance dan matriks  $R$  yang kendali PID maupun LQR pada sistem Eddy tidak dapat mengatur effort dari sistem. Sifat current brakes

menggunakan Simulink. controllability dapat diketahui dengan menggunakan pengujian controllability matriks  $\square CM \square$  seperti pada 4. PEMBAHASAN Persamaan (19). Apabila rank n dari controllability Simulasi perancangan sistem kendali pada matriks menunjukkan hasil yang sama dengan orde sistem Eddy current brakes dinamometer dilakukan sistem maka dapat dikatakan sistem adalah fully menggunakan Matlab/Simulink untuk melihat controllable. respon waktu pengereman. Adapaun tujuan dari perancangan sistem kendali ini adalah agar kriteria respon mencapai sebagai berikut: (1) nilai overshoot 3.3 Desain Kendali Zero Steady State Error kurang dari 10%, (2) nilai settling time kurang dari 5 Hasil dari perancangan kendali full state feedback detik, (3) nilai rise time kurang dari 4 detik, dan dengan metode LQR menghasilkan respon transien tercapainya zero steady state error yang akan sesuai dengan kriteria yang diinginkan, 4.1 Pengujian Sistem Tanpa Pengendali akan tetapi terdapat permasalahan pada steady state Pengujian sistem tanpa pengendali dilakukan dengan error response. Masalah ini merupakan selisih memberi masukan sistem berupa sinyal step sebesar antara respon input dengan output sistem dalam 5 Newton (N), sehingga menghasilkan respon waktu waktu yang tidak terhingga. Respon input yang pengereman seperti pada Gambar 6. Hasil simulasi dimaksud ini adalah masukan dari sistem closed menunjukkan nilai gaya pengereman sebesar 6.85 N loop, atau dalam istilah lain disebut nilai referensi yang melebihi nilai input 5 N artinya mengalami atau set point. Analisis zero steady state error overshoot dan menghasilkan transien respon sistem dilakukan setelah diketahui bahwa sistem sudah dengan nilai settling time 3.34 detik, rise time 0.394 mencapai kestabilan. Analisis tersebut digunakan detik dan overshoot sebesar 1.85 N atau 36.9 % untuk memperbaiki error sistem agar mencapai Nilai settling time dan rise time sudah cukup baik, kondisi zero steady state error yang artinya sudah namun perlu dilakukan perbaikan untuk nilai tidak terdapat error dalam kondisi steady state. overshoot agar sesuai dengan spesifikasi yang Terdapat beberapa metode analisis zero steady state diharapkan. error yaitu menggunakan gain reference input non feedback menggunakan Nbar  $\square N \square$  dan atau menggunakan integral control (Ke). Namun pada pembahasan perancangan kendali LQR Eddy current brakes dinamometer ini menggunakan steady state

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$u = -Kx + (N_u + KN_x)r \quad (21)$$

$$u = -Kx - \bar{N}r \quad (22)$$

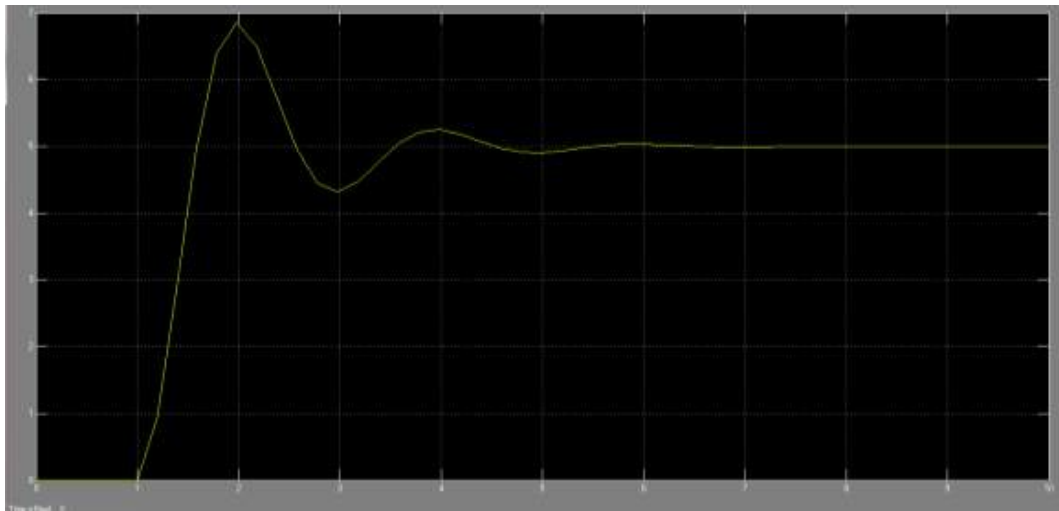
$$\bar{N} = N_u + KN_x \quad (23)$$

Gambar 11.11 Hasil Pengujian Sistem Tanpa Pengendali (Open Loop)

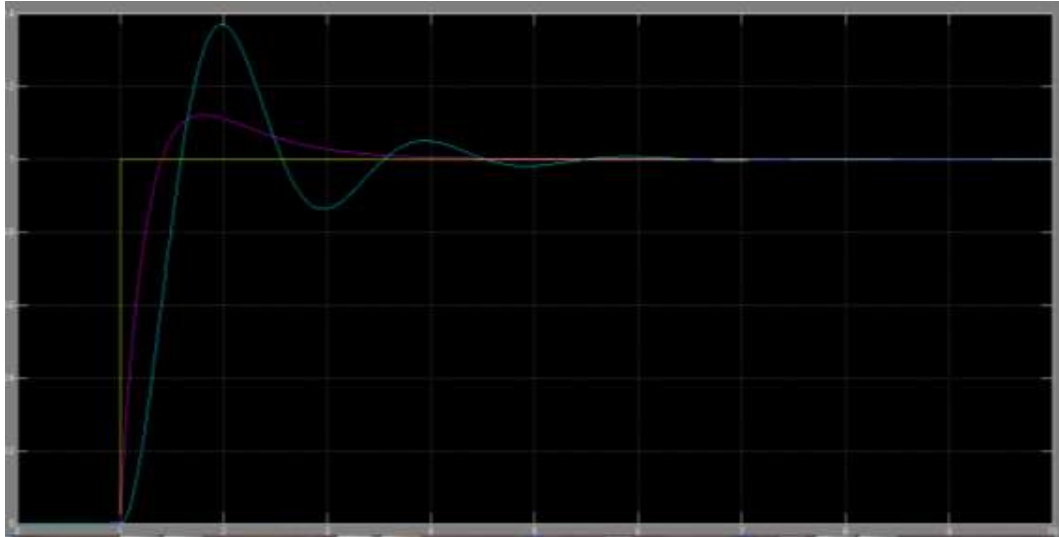
dengan model sistem dalam bentuk state space seperti pada Gambar 4 yang menghasilkan respon sistem Eddy current brakes dengan input gaya pengereman 5 N menggunakan kendali PID seperti pada Gambar 7.

4.2 Eigen value dan pole-zero map Melihat dari respon sistem open loop yang masih memiliki overshoot, pencarian nilai eigen value digunakan untuk melihat nilai kestabilan dari sistem Gambar 7. Hasil Pengujian Sistem dengan yang dimodelkan dalam bentuk state space. Hasil Pengendali PID perhitungan nilai eigen value sistem dapat diperoleh Berdasarkan respon sistem pada Gambar 7 dengan menggunakan Persamaan (24) dengan hasil didapatkan nilai settling time ( $T_s$ ) sekitar 0.27 detik sebagaimana yang tercantum pada Persamaan (25). yang masih tergolong sesuai dengan kriteria yaitu  $et(\lambda I - A) = 0$  (24) kurang dari 5 detik. Namun nilai tersebut sangat  $\lambda = [-1.0145 + 3.2054i \ 0$  tidak realistis dikarenakan respon sistem pada  $0 \ -1.0145 \ - \ 3.2054i]$  (25) kondisi riil tidak memungkinkan dengan waktu Diperoleh bahwa pole sistem berada pada kurang dari 1 detik. Begitu juga untuk nilai rise time  $(-1.0145-3.2054i, -1.0145+3.2054i)$  daerah ( $T_r$ ) yang ada di sekitar 0.18 detik. Selain itu, setelah negatif yang artinya sistem Eddy current brakes dikendalikan menggunakan kendali PID masih tergolong sistem yang stabil. Namun pada sistem ini didapatkan nilai overshoot sebesar 0.7 %. Hasil diperlukan adanya desain kendali yang dapat tersebut menunjukkan bahwa penggunaan mengurangi nilai overshoot pada sistem sesuai pengendali PID menghasilkan respon sistem yang dengan kriteria rancangan. Desain kendali yang diuji dapat mencapai kestabilan sesuai dengan kriteria, pada penelitian ini menggunakan kendali PID dan meskipun mengalami peningkatan gain yang cukup LQR. signifikan dengan gain sekitar 5.7 N dalam waktu kurang dari 1 detik. Oleh karena itu dilakukan 4.3 Hasil Pengujian Pengendali PID percobaan dengan pengendali LQR sebagai Penentuan parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  pada pembandingan. pengendali PID mengadaptasi dari Ackermann pole placement dengan langkah pertama yaitu 4.4 Hasil Pengujian Pengendali LQR menentukan persamaan karakteristik berdasarkan Pada pengujian sistem dengan pengendali LQR Persamaan (12) dari pole yang akan ditentukan. diawali dengan menentukan Matriks diagonal  $Q$  Kendali PID membutuhkan tiga parameter, untuk mengatur performance sistem dan matriks sementara sistem hanya memiliki dua pole, sehingga diagonal  $R$  untuk mengatur input sistem yang diperlukan penambahan satu pole untuk nantinya digunakan untuk mendapatkan gain full memunculkan pole dominan yang ditempatkan pada state feedback matriks  $K$  berdasarkan Persamaan lokasi paling kiri. Sehingga sistem akhir memiliki (17). Dengan bantuan Matlab perhitungan tersebut tiga pole

yang terbentuk dari sistem augmented baru dapat dilakukan dengan menggunakan perintah seperti pada Persamaan (15). Kemudian nilai  $K_p$ ,  $K_i$  “lqr()”. Namun sebelum dilakukan perancangan dan  $K_d$  dapat dicari dengan sistem augmented kendali LQR dilakukan pengecekan terhadap tersebut. controllability dari sistem menggunakan Matriks Nilai  $K_a$  gain full state feedback dicari dengan controllability sebagaimana yang ditunjukkan pada Persamaan (13), atau dapat dengan menggunakan Persamaan (19). Dari pengecekan tersebut, perintah “acker” pada Matlab. Setelah didapatkan kemudian dihasilkan nilai rank untuk Matriks nilai  $K_a$  maka dapat diperoleh nilai  $K^{\wedge}$  dari controllability adalah 2. Nilai tersebut menunjukkan Persamaan (14), melalui nilai  $K^{\wedge}$  tersebut bahwa semua variable state pada sistem Eddy didapatkan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ . Melalui semua current brakes bersifat fully controllable atau dapat perhitungan tersebut dengan asumsi lokasi pole dikendalikan secara menyeluruh karena nilai rank terbaik [-1 -5.2 -999] dengan menggunakan dari matriks sama dengan orde sistem. Perhitungan perhitungan Matlab didapatkan nilai  $K_p = 459.5541$ , gain  $K$  melalui Persamaan  $K_i = 547.3900$  dan  $K_d = 88.7448$ . Setelah (17) dari penyelesaian Persamaan (18) dengan nilai didapatkan nilai parameter PID kemudian matriks  $Q$  dan  $R$  pada pengujian pertama disimulasikan respon sistem menggunakan Simulink sebagaimana yang terlihat pada Persamaan (26).



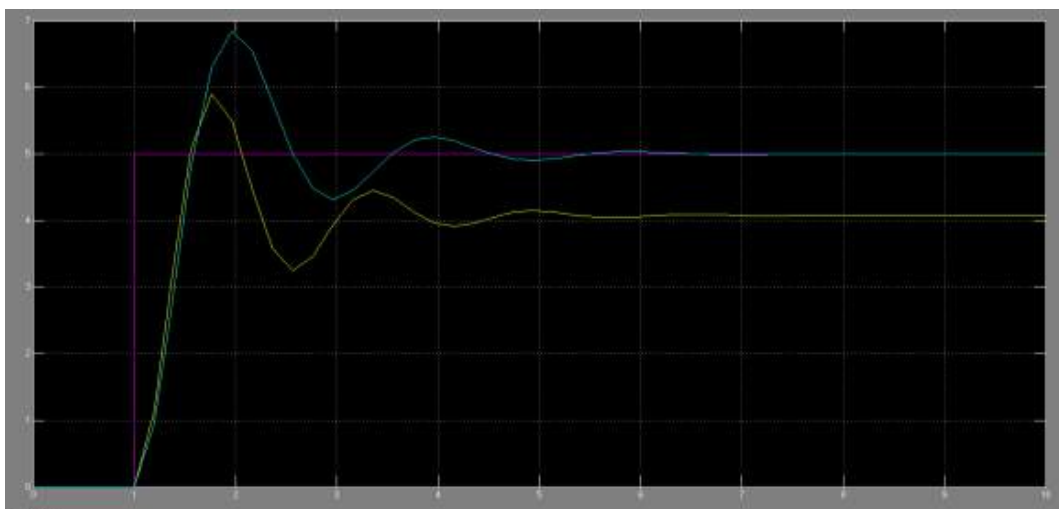
Gambar 11.12



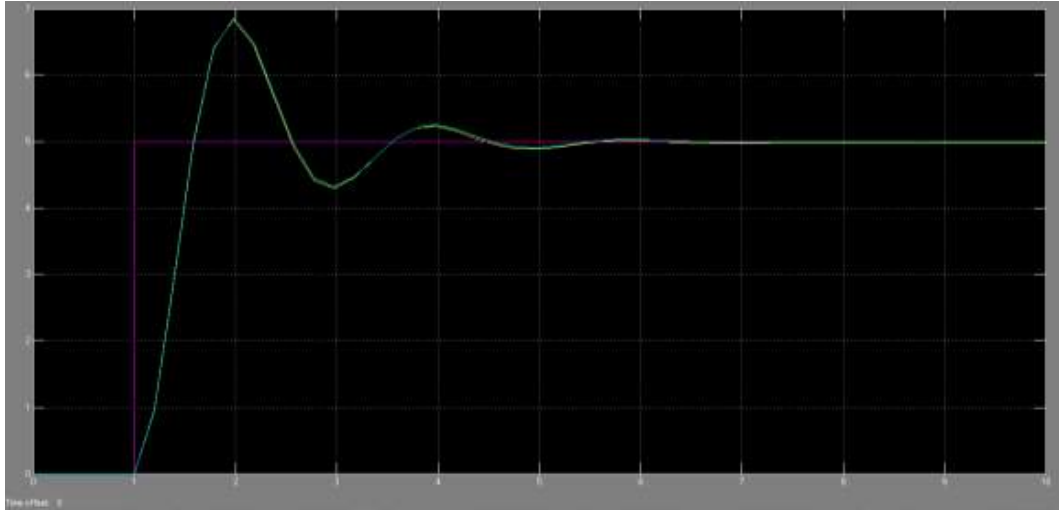
*Gambar 11.13*

$Q=[ ]$ ,  $R = 1$  (26) Dari pengujian pertama menghasilkan nilai penguatan gain  $K = [0.8025$   
 $0.3181]$ . Penambahan gain reference input yang dihitung berdasarkan Persamaan (20), (21),  
(22), dan (23) didapatkan nilai penguatan sebesar 1.2251. Setelah didapatkan nilai gain  
reference input untuk mencapai zero steady state response, maka dilakukan pengujian respon  
sistem Eddy current brakes dengan kendali LQR menggunakan Matlab. Pengujian respon  
Eddy Gambar 9. Hasil Pengujian Kedua menggunakan current brakes menggunakan  
Simulink dengan Pengendali LQR model dalam bentuk state space seperti pada Gambar 5  
menghasilkan respon waktu pengereman 4.5 Perbandingan Respon Sistem Kendali PID  
seperti pada Gambar 8. dan LQR Tabel 2 menunjukkan bahwa dengan menggunakan kendali  
LQR dapat menghasilkan respon waktu pengereman Eddy current brakes yang lebih baik  
dibandingkan dengan menggunakan kendali PID, hal ini dikarenakan dengan menggunakan  
kendali LQR memiliki hasil transient response yang sesuai dengan kriteria dengan nilai  
settling time ( $T_s$ )  $< 5$  detik dan rise time ( $T_r$ )  $< 4$  detik yang masih dapat dikatakan  
reasonable apabila diimplementasikan. Gambar 8. Hasil Pengujian Pertama Tabel 2.  
Perbandingan Respon Pengendali PID menggunakan Pengendali LQR dan LQR Kriteria  
PID LQR sebesar 2.19 detik sudah baik dikarenakan masih Settling time 0.27 s 2.12 s  
dibawah batas kriteria 5 detik dan masih sesuai Rise time 0.18 s 1.18 s dengan kondisi riil.  
Dari percobaan pertama % Overshoot 0.7 0 diperlukan perbaikan nilai pada Matriks Q dan  
R untuk dapat menaikkan respon ke 5 N dan Steady state error 0 0 memperbaiki nilai  
presentase overshoot menjadi Fb (Gaya Pengereman) 5N 5N 0 %. Dari hasil pengamatan  
respons sistem, penggunaan Pada pengujian kedua, dilakukan modifikasi kendali LQR dapat  
dikatakan lebih optimal sebagai nilai Matriks Q dan R sebagaimana yang pengendali pada  
sistem Eddy current brakes ditunjukkan pada Persamaan (27), yang dikarenakan dengan

menggunakan full state kemudian diperoleh nilai gain  $K = \text{feedback LQR}$  mampu mengatur performance untuk  $[2.7815 \ 0.0117]$ . Selanjutnya, nilai gain  $N^{-}$  dinamika setiap state vector sistem dengan  $N^{-}$  diperoleh sebesar 1.0083 menggunakan matriks  $Q$  dan mengatur efisiensi kinerja aktuator melalui state vector input sistem  $Q=[ \ ]$ ,  $R = 1$  (27) menggunakan matriks  $R$ , sehingga dapat menghasilkan respon sistem yang lebih optimal Setelah dilakukan modifikasi, didapatkan grafik respon sebagaimana yang ditunjukkan pada dengan transient response yang sesuai dengan Gambar 9. Dari respon tersebut, terlihat setelah kriteria. dilakukan perbaikan Matriks  $Q$  dan  $R$  serta gain reference input  $N^{-}$  sebagai precompensation terlihat 5. KESIMPULAN hasil respon sistem dapat mencapai kestabilan Sistem Eddy current brakes dengan menggunakan dengan nilai gaya pengereman 5 N tanpa adanya kendali PID menghasilkan transient response yang overshoot. Nilai settling time ( $T_s$ ) mencapai 2.12 sangat cepat meliputi dari nilai settling time ( $T_s$ ) = detik yang sudah memenuhi kriteria dan nilai rise 0.27 detik dan rise time ( $T_r$ ) = 0.18 detik, serta time ( $T_r$ ) pada 1.18 detik yang juga masih adanya overshoot 0.7 % di luar kriteria sistem. sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Respon tersebut dapat dikatakan kurang optimal Penambahan  $N^{-}$  mampu meningkatkan gain dalam implementasi pada sistem Eddy current output sistem, sehingga sesuai dengan nilai brakes, dikarenakan membutuhkan effort yang referensi dan mencapai kondisi zero steady state sangat tinggi dalam mengendalikan respons gaya error. Dari hasil pengujian kedua menggunakan pengereman dengan waktu yang sangat cepat pengendali LQR ditambah dengan gain reference sehingga berakibat pada borosnya konsumsi energi input  $N^{-}$  mampu memberikan respon waktu untuk menstabilkan gaya pengereman dan jika pengereman yang sesuai dengan kriteria. 1



Gambar 11.14



*Gambar 11.15*

diimplementasikan ke sisi hardware akan tidak optimal (LQR). ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, karena respon waktu pengereman yang terlalu cepat. Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 7(2), Adapun kelemahan pada pengendalian sistem 224. menggunakan kendali PID menggunakan parameter Gulbahce, M. O., Kocabas, D. A., & Atalay, A. K. Kp, Ki dan Kd yaitu belum mempunya (2013). A study to determine the act of excitation mengendalikan setiap dinamika variable state yang current on braking torque for a low power eddy diinginkan pada sistem Eddy current brakes. current brake. 2013 International Electric Machines Berbeda dengan kendali full state feedback LQR & Drives Conference, (pp. 1321–1325). yang dapat dikatakan tepat dan optimal untuk Handaya, D., & Fauziah, R. (2021). Proportional- diimplementasikan pada sistem Eddy current brakes Integral-Derivative and Linear Quadratic Regulator yang mampu menghasilkan respon waktu yang Control of Direct Current Motor Position using sesuai dengan kriteria settling time ( $T_s$ ) = 2.12 detik Multi-Turn Based on LabView. Journal of Robotics dan rise time ( $T_r$ ) = 0.18 detik tanpa adanya and Control (JRC), 2(4). overshoot sehingga waktu pengereman diberikan Houari, A., Bachir, I., Mohame, D. K., & Mohamed, jeda 2 detik yang dapat menjadikan konsumsi energi M. K. (2020). PID vs LQR controller for tilt rotor controller untuk mengendalikan Eddy current brakes airplane. International Journal of Electrical and lebih efisien. Hal tersebut, dikarenakan kendali LQR Computer Engineering (IJECE), 10(6), 6309. mampu mengatur performance sistem dan mengatur Isdaryani, F., Hesya, M. F. V., & Feriyonika, F. efisiensi kinerja aktuator terhadap input sistem, dan (2021). Sintesis Kendali PID Digital dengan kendali full state feedback memiliki metode untuk Diskritisasi Langsung dan Backward Difference. menghilangkan steady state error melalui tambahan ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik gain reference input yang dapat

menghasilkan Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 9(2), 467. respon sistem lebih optimal dengan transient Ma'arif, A., & Setiawan, N. R. (2021). Control of response yang sesuai dengan kriteria respon waktu DC Motor Using Integral State Feedback and pengereman. Dengan demikian jenis kendali LQR Comparison with PID: Simulation and Arduino sebagai kendali modern dapat menjadi pilihan Implementation. Journal of Robotics and Control pertimbangan pengembangan metode kendali klasik (JRC), 2(5). PID yang masih sering digunakan pada sistem Eddy Munadi, M., Pandu, R. A., Wiradinata, R., Julianti, current brakes untuk memperoleh kinerja gaya H. P., & Setiawan, R. (2020). Model and prototype pengereman yang lebih optimal dan efisiensi energi of mobile incubator using PID controller based on dalam pengendalian gaya pengereman yang lebih Arduino Uno. Jurnal baik. Teknologi Dan Sistem Komputer, 8(1), 69–77. Nahari, T., Joelianto, E., & Suyatman. (2012). An PUSTAKA eddy brakes dynamometer control system design Alkhafaji, F. S. M., Hasan, W. Z. W., Isa, M. M., & using state space based PID controller. 2012 IEEE Sulaiman, N. (2018). A novel method for tuning PID Conference on Control, Systems & Industrial controller. Journal of Telecommunication, Informatics, (pp. 163–168). Electronic and Computer Engineering, 10(1–12), Nunes, A. J. R., & Brojo, F. M. R. P. (2020, June 2). 33–38. Designing an Eddy Current Brake for Engine Apriaskar, E., Fahmizal, F., Salim, N. A., & Testing. International Congress on Engineering - Prastiyanto, D. (2019). Performance Evaluation of Engineering for Evolution. Balancing Bicopter using P, PI, and PID Controller. Purnawan, H., Mardlijah, & Purwanto, E. B. (2017). Jurnal Teknik Elektro, 11(2), 44–49. Design of linear quadratic regulator (LQR) control Brin, W. (2013). Design and Fabrication of an Eddy system for flight stability of LSU-05. Journal of Current Brake Dynamometer for Efficiency Physics: Conference Series, 890, 012056. Determination of Electric Wheelchair Motors Rao, C. S., Santosh, S., & V, D. R. (2020). Tuning [Wright State University]. optimal PID controllers for open loop unstable first Chen, C., Xu, J., & Wu, X. (2019). Analytical order plus time delay systems by minimizing ITAE Calculation of Braking Force of Super-High Speed criterion. IFAC- PapersOnLine, 53(1), 123–128. Maglev Eddy Current Braking System. 2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), (pp. 1–5). Cho, S., Liu, H.-C., Ahn, H., Lee, J., & Lee, H.-W. (2017). Eddy Current Brake With a Two- Layer Structure: Calculation and Characterization of Braking Performance. IEEE Transactions on Magnetics, 53(11), 1–5. Fahmizal, F., Arrofiq, M., Adrian, R., & Mayub, A. (2019). Robot Inverted Pendulum Beroda Dua (IPBD) dengan Kendali Linear Quadratic Regulator 1

## Daftar Pustaka

- [1] Dwicahyo, A, Widodo, HA and Nugraha, AT. "Purwarupa Monitoring Fresh Water Tank pada Kapal Berbasis Mikrokontroler." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 11.1, 2021, pp. 12-19.
- [2] Aziz, MNH, Setiyoko, AS and Nugraha, AT. "Trainer Kit Detector Fire Alarm System pada Kapal." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 11.2, 2021, pp. 49-58.
- [3] Cahyono, L, Apriani, M, Nugraha, AT and Utomo, AP. "Potensi Risiko Waktu Pelaksanaan Proyek Swakelola di Kabupaten Pasuruan melalui Program Kotaku Kementerian PUPR." *Jurnal Spektran* 10.2, 2022, p. 118.
- [4] Nugraha, AT, Purwoko, ARJ, Yuniza, SI and Achmad, I. "Analisa Kontrol Kecepatan Motor Brushless DC Menggunakan Cuk Konverter." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 10.2, 2020, pp. 69-83.
- [5] Arifuddin, R, Dirgantara, W, Sumarahinsih, A, Hafsari, RPI, Maulana, FI and .... "Baby room temperature and humidity control system using fuzzy logic." *Emitor: Jurnal teknik elektro*, 2024, pp. 275-280.
- [6] Sunarno, E, Prasetyono, E, Anggriawan, DO, Nugroho, MAB, Eviningsih, RP and .... "Development of TCR-FC Reactive Power Compensation Device with Fuzzy Logic Control in Electric Power Networks." *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical ...*, 2024
- [7] Nugraha, AT, Primaningtyas, WE, Abdullah, K, Wulandari, KD, Alfanda, BD and .... "Pelatihan manufaktur komposit sebagai produk kerajinan tangan pada industri rumahan." *Educivilia: Jurnal Pengabdian pada Masyarakat* 1.2, 2020, pp. 119-129.
- [8] Tiwana, MZA, Adianto, A and Nugraha, AT. "Perancangan Sistem Monitoring Dan Alarm Berbasis Logic Panel Dan Komunikasi Modbus." *Seminar Master Ppns* 6.1, 2021
- [9] Negeri, ATNPP and Negeri, MJSPP. "Comparison of Insulated Switch Gear with Desiccant Addition to SF6 Gas Quality System at Waru Substation."
- [10] Asri, P, Rachman, I, Widiarti, Y, Nugraha, AT, Maulidhia, ANA, Widodo, HA and .... "Membangun Kemandirian Energi Rumah Tangga Melalui Pelatihan Reparasi Alat Kelistrikan." *Jurnal Cakrawala Maritim* 8.2, 2025, pp. 100-108.
- [11] Safitri, LN. "PROTOTYPE PTO (POWER TAKE-OFF) GENERATOR DENGAN MENGATUR KECEPATAN MOTOR 3 PHASE UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LISTRIK DI KAPAL." *Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, 2021
- [12] Caesarendra, W. "Triwiyanto Triwiyanto Achmad Rizal."
- [13] Rohman, YF, Nugraha, AT and Sobhita, RA. "Converter as a Voltage Output Stabilizer for Wind Turbines." *Journal of Electrical, Marine and Its Application* 3.1, 2025
- [14] Jamil, MH, Rukka, RM, Tenriawaru, AN, Achmad, R, Nugraha, AT and .... "The existence of rice fields in Makassar City." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 681.1, 2021, p. 12091.
- [15] Nugraha, AT and Wijay, JA. "Application of LQR-PID Control in Eddy Current Brake Dynamometer Systems for Community Skill Development." *Maritime in Community Service and Empowerment* 1.2, 2023, pp. 54-64.
- [16] AY, HAD, Mudjiono, U and Nugraha, AT. "Rancang Bangun Prototipe Sistem Kontrol Suhu dan Ketinggian Air pada Mesin Extruder." *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 12.2, 2022, pp. 117-125.
- [17] Nugraha, AT and Ravi, AM. "Experimental Study of the Effect of Excitation Current on the Output Voltage of a Self-excited Synchronous Generator.", 2023
- [18] Sheila, SY, Rochamwati, NW, Riyadi, F, As'ad, RF and Nugraha, AT. "Desain and Build a Medium Voltage Cubicles Temperature and Humidity Optimization Tool to Minimize the Occurrence of Corona Disease with the PLC-Based Fuzzy Method." *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical ...*, 2022

- [19] Rahim, R, Kurniasih, N, Hasibuan, A, Andriany, L, Najmurrokhman, A and .... "Congklak, a traditional game solution approach with breadth first search." MATEC web of Conferences 197, 2018, p. 3007.
- [20] Apriani, M, Nugraha, AT, Cahyono, L and Utomo, AP. "Eco Friendly Artificial Coral Reefs Melalui Recovery Limbah Cangkang Kerang Di Pantai Mutiara Desa Wisata." ID Patent EC002,022,116,738, 2022

## GLOSARIUM

**Arus Searah (DC)** : Arus listrik yang mengalir dalam satu arah dengan polaritas tetap.

**Arus Bolak-balik (AC)** : Arus listrik yang arah dan besarnya berubah secara periodik terhadap waktu.

**Penyearah (Rectifier)** : Rangkaian yang mengubah tegangan/arus bolak-balik (AC) menjadi searah (DC).

**LQR (Linear Quadratic Regulator)** : Metode kendali optimal yang meminimalkan fungsi biaya kuadratik untuk mengatur keadaan sistem.

**LQT (Linear Quadratic Tracking)** : Pengembangan LQR yang bertujuan mengikuti (tracking) sinyal referensi tertentu.

**PID (Proportional Integral Derivative)** : Pengendali umpan balik yang menggabungkan aksi proporsional, integral, dan turunan.

**PWM (Pulse Width Modulation)** : Teknik pengaturan daya dengan memodulasi lebar pulsa sinyal.

**THD (Total Harmonic Distortion)** : Ukuran tingkat distorsi harmonik pada suatu gelombang listrik.

**SCR (Silicon Controlled Rectifier)** : Komponen semikonduktor daya yang berfungsi sebagai sakelar terkendali.

**TRIAC** : Komponen semikonduktor yang dapat menghantarkan arus pada kedua arah gelombang AC.

**Overshoot** : Lonjakan respons sistem yang melampaui nilai akhir (steady state) sebelum stabil.

**Settling Time** : Waktu yang dibutuhkan respons sistem untuk menetap dalam rentang toleransi tertentu.

**Steady State** : Kondisi tunak ketika keluaran sistem tidak lagi berubah secara signifikan terhadap waktu.

**Plant** : Objek atau sistem fisik yang dikendalikan dalam suatu sistem kontrol.

**Duty Cycle** : Rasio durasi sinyal aktif terhadap satu periode penuh, biasa dinyatakan dalam persen.

## INDEKS

### A

AC Voltage Controller  
And Op-Amp LM324N  
Arus Bolak-balik  
Arus Searah

### C

Cold Storage  
Controlling Mechanical Systems  
Cooling System

### D

DC Motor  
Dinamometer

### E

Eddy Brakes  
Eddy Current  
Enoki Mushroom

### G

Gelombang Penuh

### K

Kontrol Optimal

### L

Limited Actuation  
Linear Quadratic Regulator  
Linear Quadratic Tracking  
LQR  
LQT

### M

Matlab  
Motor AC  
Motor DC  
Motor Induksi

### O

Optimisasi  
Orde Dan Matematis  
Overshoot

### P

Pemodelan  
Penyearah

Performance Comparison

PID

PSIM

PWM

## R

Rectifier

Regulator Tegangan

## S

SCR

Series DC Motor

Setengah Gelombang

Settling Time

Simulink

Sistem Kendali

Speed Control

Steady State

## T

THD

TRIAC

## W

Wave

## BIOGRAFI PENULIS

### **Anggara Trisna Nugraha** — *Pengarah*

Anggara Trisna Nugraha merupakan pengarah penyusunan buku bunga rampai ini. Beliau aktif membimbing kegiatan ilmiah mahasiswa di bidang elektronika daya, sistem kendali, dan kelistrikan kapal di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, serta menaruh perhatian besar pada penerapan metode kendali optimal seperti LQR, LQT, dan PID.

### **Naufal Hariz** — *Penulis BAB I*

Penulis adalah kontributor pada BAB I buku ini dengan judul “Perancangan dan Aplikasi Pengontrol Tegangan AC Satu Fasa”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

### **Mochammad Nawal Gibran, Salsabila Ika Yuniza, Anggara Trisna Nugraha** — *Penulis BAB II*

Penulis adalah kontributor pada BAB II buku ini dengan judul “Pengaruh Beban pada Regulator Tegangan AC Satu Fasa”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

### **Muhammad Adimassyah** — *Penulis BAB III*

Penulis adalah kontributor pada BAB III buku ini dengan judul “Rektifier Terkontrol Satu Fasa Gelombang Penuh untuk Mengatur Laju Motor AC”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

### **Muhammad Handy Wahyu Pradana** — *Penulis BAB IV*

Penulis adalah kontributor pada BAB IV buku ini dengan judul “Perbandingan Respon Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode PID dan LQR”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

### **Muhammad Nadhif Oka Dikmantara** — *Penulis BAB V*

Penulis adalah kontributor pada BAB V buku ini dengan judul “Simulasi Kontrol LQR-PID pada Cold Storage Ikan Salmon”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

### **Muhammad Rizki Abdul Aziz** — *Penulis BAB VI*

Penulis adalah kontributor pada BAB VI buku ini dengan judul “Kajian Kinerja Motor DC 110BLF01 dengan Linear Quadratic Regulator (LQR) sebagai Kontroler”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

**Naufal Rendra Saputra** — *Penulis BAB VII*

Penulis adalah kontributor pada BAB VII buku ini dengan judul “Perbandingan Kinerja LQT dan LQR dalam Mengendalikan Sistem Mekanik dengan Aktuasi Terbatas”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

**Naura Aulia Barcka** — *Penulis BAB VIII*

Penulis adalah kontributor pada BAB VIII buku ini dengan judul “Optimalisasi Pengontrol Pengaplikasian LQR dan LQT”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

**Naura** — *Penulis BAB IX*

Penulis adalah kontributor pada BAB IX buku ini dengan judul “Rektifier Terkendali 1 Fasa Gelombang Penuh”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

**Nur Wakhidatur Rochmawati** — *Penulis BAB X*

Penulis adalah kontributor pada BAB X buku ini dengan judul “Perancangan dan Perbandingan Kontroler LQR-PID untuk Kendali Posisi Motor DC pada Alat Penjemur Biji Kopi”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

**Oktavinna Dwi Pratiwi** — *Penulis BAB XI*

Penulis adalah kontributor pada BAB XI buku ini dengan judul “Sistem Kendali Eddy Current Brake Dinamometer Menggunakan Linear Quadratic Regulator (LQR)”. Tulisan tersebut dikembangkan sebagai bagian dari kegiatan ilmiah mahasiswa di lingkungan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

# BUNGA RAMPAI

## TEKNOLOGI ELEKTRONIKA DAYA DAN SISTEM KENDALI

### TENTANG BUKU INI

Bunga rampai ini menghimpun karya tulis ilmiah mahasiswa dalam bidang elektronika daya dan sistem kendali yang dikembangkan melalui kegiatan ilmiah INERGYC. Edisi I Jilid A tahun 2022 memuat 11 bab yang membahas perancangan dan analisis pengatur tegangan AC, rangkaian penyearah (rectifier), serta penerapan metode kendali optimal seperti LQR, LQT, dan PID pada pengendalian motor listrik.

Setiap bab disusun oleh penulis yang berbeda dengan pendekatan dan studi kasus masing-masing, sehingga buku ini menjadi sumber rujukan yang kaya bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi di bidang teknik kelistrikan.

### Topik Utama

- Pengaturan tegangan AC satu fasa dan tiga fasa
- Rangkaian penyearah (rectifier) terkontrol
- Kendali motor DC dengan metode LQR dan LQT
- Pengendali PID dan perbandingan antarmetode
- Simulasi menggunakan PSIM dan MATLAB/Simulink

Edisi I • Jilid A • Tahun 2022

Diterbitkan oleh :

DEPARTMENT OF MARINE ELECTRICAL ENGINEERING  
SHIPBUILDING INSTITUTE OF POLYTECHNIC SURABAYA