

SKRIPSI

**PERBANDINGAN SISTEM KENDALI MOTOR DC MENGGUNAKAN  
LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR) DAN  
PROPORSIONAL-INTEGRATIF-DERIVATIF (PID) DENGAN DAN TANPA  
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)**

Disusun dan diajukan oleh:

Aliyah Muthmainnah

D41115305



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PERBANDINGAN SISTEM KENDALI MOTOR DC MENGGUNAKAN  
LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR) DAN  
PROPORSIONAL-INTEGRATIF-DERIVATIF (PID) DENGAN DAN TANPA  
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)**

Disusun dan diajukan oleh:

**ALIYAH MUTHMAINNAH**

**D411 15 315**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Program Studi Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

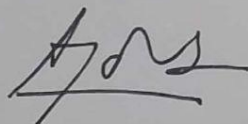
Pada Tanggal 23 Februari 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

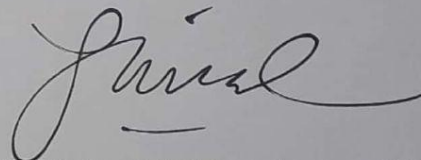
Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II



**Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T, M.T.**  
NIP. 197209081997022001



**Prof. Dr. Ing. Faizal Arya Samman, S.T, M.T.**  
NIP. 197506052002121004

Ketua Departemen Teknik Elektro



**Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.**  
NIP. 19691026 199412 2 001

## LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI

### PERBANDINGAN SISTEM KENDALI MOTOR DC MENGGUNAKAN LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR) DAN PROPORSIONAL-INTEGRATIF-DERIVATIF (PID) DENGAN DAN TANPA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

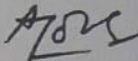
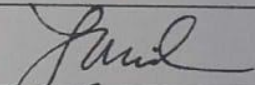
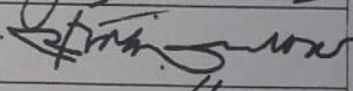
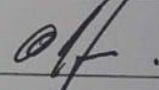
Oleh

ALİYAH MUTHMAINNAH

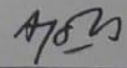
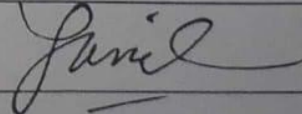
D41115305

Skripsi ini telah dipertahankan pada Ujian Akhir Sarjana tanggal 23 Februari 2022.  
Telah dilakukan perbaikan penulisan dan isi skripsi berdasarkan usulan dari penguji dan  
pembimbing skripsi

Persetujuan perbaikan oleh tim penguji:

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T, M.T.	
Sekretaris	Prof.Dr.Ing. Faizal Arya Samman, S.T, M.T.	
Anggota	Dr. Ir. Rhiza S. Sadjad, MSEE.	
	Ir. Christoforus Yohannes, M.T.	

Persetujuan perbaikan oleh pembimbing:

Pembimbing	Nama	Tanda Tangan
I	Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T, M.T.	
II	Prof.Dr.Ing. Faizal Arya Samman, S.T, M.T.	

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Aliyah Muthmainnah

NIM : D41115305

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PERBANDINGAN SISTEM KENDALI MOTOR DC MENGGUNAKAN LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR) DAN PROPORSIONAL-INTEGRATIF-DERIVATIF (PID) DENGAN DAN TANPA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 23 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Aliyah Muthmainnah

## ABSTRAK

Motor DC umumnya digunakan pada pemakaian yang memerlukan rentang kecepatan yang lebar, sehingga untuk memaksimalkan kinerja dari motor DC digunakan pengendali atau controller. Salah satu yang umum digunakan untuk optimasi pada sistem kontrol adalah metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dan *Proportional-Integrative-Derivative* (PID). Pada kendali LQR terdapat parameter matriks Q dan R untuk menentukan nilai *feedback gain* K, sementara itu pada kendali PID terdapat nilai  $k_p$ ,  $k_i$ , dan  $k_d$  yang nilainya ditentukan untuk mendapatkan respon motor yang optimal. Pada penelitian ini, digunakan algoritma Particle Swarm Optimization untuk pembobotan matriks Q dan R pada metode LQR dan untuk mencari nilai  $k_p$ ,  $k_i$ , dan  $k_d$  pada metode kendali PID. Algoritma PSO melakukan iterasi untuk mencari nilai-nilai terbaik (*Global Best Position*) berdasarkan *Objective Function* sistem. Terdapat 5 skema simulasi yaitu simulasi motor DC tanpa pengendali (open loop), simulasi motor DC kendali LQR dengan pembobotan matriks Q dan R menggunakan metode *trial-and-error*, simulasi motor DC kendali PID dengan metode *Ziegler-Nichols* untuk mencari nilai  $k_p$ ,  $k_i$ , dan  $k_d$ , simulasi motor DC dengan kendali LQR menggunakan algoritma PSO untuk pembobotan matriks Q dan R, dan simulasi motor DC dengan kendali PID menggunakan algoritma PSO untuk mencari nilai  $k_p$ ,  $k_i$ , dan  $k_d$ . Dari perbandingan hasil simulasi, diperoleh bahwa kontroler LQR-PSO adalah yang terbaik performansinya dengan 4 % *overshoot*, 0.0547 s *rise time*, and 0.1420 s *settling time*.

Kata kunci: Linear Quadratic Regulator (LQR), Particle Swarm Optimization, motor DC.

## ABSTRACT

DC motors are generally used in applications that require a wide speed range and in order to maximize the performance of a DC motor, a controller is utilized. In this study, the Particle Swarm Optimization algorithm is implemented to weight the Q and R matrices in the LQR method and to find the values of  $k_p$ ,  $k_i$ , and  $k_d$ , in the PID control method. The PSO algorithm iterates to find the best values (Global Best Position) based on the system's Objective Function. There are 5 simulation schemes, namely an open loop DC motor simulation, an LQR controlled DC motor simulation with a weighting matrix Q and R using the trial-and-error method, a PID-controlled DC motor simulation using Ziegler-Nichols method to find the values of  $k_p$ ,  $k_i$ , and  $k_d$ , DC motor simulation with LQR control using PSO algorithm for weighting the Q and R matrices, and DC motor simulation with PID control using PSO algorithm to find  $k_p$ ,  $k_i$ , and  $k_d$  values. From the comparison of simulation results, the LQR-PSO controller has the best performance with 4% overshoot , 0.0547 s rise time , and 0.1420 s settling time.

Keywords: Linear Quadratic Regulator (LQR), Particle Swarm Optimization, DC motor.

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang dengan limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “PERBANDINGAN SISTEM KENDALI MOTOR DC MENGGUNAKAN LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR) DAN PROPORSIONAL-INTEGRATIF-DERIVATIF (PID) DENGAN DAN TANPA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar. Pada penulisan tugas akhir ini, penulis banyak dihadapkan dengan berbagai hambatan, akan tetapi berkat adanya bimbingan, dukungan dan bantuan dari pihak, akhirnya penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Olehnya itu, melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan penghargaan dan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kesempatan, rahmat dan hidayah-Nya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua dan saudara-saudara kami, atas doa restu, bantuan, nasehat dan motivasinya. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalasnya
3. Ibu Dr. A. Ejah Umraeni Salam, ST, MT selaku pembimbing I dan Bapak Prof. Dr. Ing. Faizal Arya Samman, ST.MT selaku pembimbing II yang telah banyak

meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya selama membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan tugas akhir ini.

4. Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Ibu Dr.Eng.Ir. Dewiani, MT

5. Seluruh Dosen dan Staf Akademik departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas pengabdian dan pelayanannya kepada kami.

6. Teman-teman Sub-program Studi Teknik Kendali angkatan 2015

7. Dan untuk semua pihak yang tak dapat kami sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, baik isi maupun cara penyajian. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun demi perbaikan tugas akhir ini.

Penulis

Aliyah Muthmainnah



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Motor DC	5
2.2 Parameter Step-response	7
2.3 Linear Quadratic Regulator (LQR)	9
2.4 Proportional-Integral-Derivative (PID)	9
2.5 Particle Swarm Optimization (PSO)	11
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Pemodelan Motor DC	16
3.1.1 Pemodelan Motor DC Menggunakan Simulink	17
3.1.2 Controllability dan Observability Sistem	17

3.2 Perancangan Kendali LQR Motor DC	18
3.2.1 Kendali LQR dengan Metode Trial-and-Error	18
3.2.2 Kendali LQR dengan PSO	18
3.3 Perancangan Kendali PID Motor DC	19
3.3.1 Kendali PID dengan Metode Ziegler-Nichols	19
3.3.2 Kendali PID dengan Particle Swarm Optimization	21
3.4 Rancangan Pengujian	22
3.4.1 Simulasi Motor DC tanpa Pengendali.	22
3.4.2 Simulasi Motor DC LQR trial-and-error	23
3.4.3 Simulasi Motor DC LQR dengan Particle Swarm Optimization	23
3.4.4 Simulasi Motor DC PID dengan metode Ziegler Nichols	24
3.4.5 Simulasi Motor DC PID dengan Particle Swarm Optimization (PSO)	25
3.4.6 Simulasi Perbandingan Set Point Tracking	26
3.4.7 Simulasi Perbandingan Dengan Pengujian Beban	
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	27
4.1 Simulasi Motor DC Tanpa Pengendali	27
4.2 Simulasi Motor DC dengan kendali LQR	28
4.3 Simulasi Motor DC dengan PID-Ziegler Nichols	29
4.4 Simulasi Motor DC dengan Kendali LQR-PSO	30
4.5 Simulasi Motor DC dengan PID-PSO	31
4.6 Perbandingan Hasil Simulasi	32
<b>BAB V PENUTUP</b>	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Model Motor DC pada Simulink MATLAB	7
Gambar 3.2 Model Motor DC tanpa pengendali pada Simulink	13
Gambar 3.3 Model Simulasi Motor DC menggunakan pengendali	13
Gambar 3.4 Model Simulink Motor DC dengan kendali PID	15
Gambar 3.5 Sinyal kecepatan referensi untuk perbandingan Set Point Tracking	17
Gambar 4.1 Sinyal kecepatan respon motor DC tanpa pengendali	18
Gambar 4.2 Sinyal respon motor DC dengan pengendali LQR	20
Gambar 4.3 Respon Motor dengan kendali PID-Ziegler Nichols	21
Gambar 4.4 Respon motor DC dengan kendali LQR-PSO	22
Gambar 4.5 Respon Motor dengan kendali PID-PSO	23
Gambar 4.6 Perbandingan respon kendali motor DC dengan <i>set point tracking</i> .	25

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai Parameter Motor DC	6
Tabel 3.2 Parameter PSO yang digunakan pada pembobotan matriks Q dan R	9
Tabel 3.3 Parameter Kendali PID Berdasarkan Metode Ziegler-Nichols	11
Tabel 3.4 Nilai Kp, Ki, dan Kd pada kendali PID dengan metode Ziegler-Nichols.	11
Tabel 3.5 Parameter PSO yang digunakan pada pencarian Kp, Ki, Kd Kendali PID	12
Tabel 4.1 Parameter Respon Motor DC	18
Tabel 4.2 Parameter Respon Motor DC dengan Kendali LQR	19
Tabel 4.3 Parameter PID-Ziegler Nichols	20
Tabel 4.4 Parameter Respon Motor DC dengan Kendali PID-Ziegler Nichols	21
Tabel 4.5 Parameter Respon Motor DC dengan Kendali LQR-PSO	22
Tabel 4.6 Parameter PID-PSO	23
Tabel 4.7 Parameter Respon Motor DC dengan Kendali PID-PSO	23
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Simulasi	25

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Linear Quadratic Regulator (LQR) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor DC dimana pada beberapa kondisi metode ini lebih baik dalam hal tanggapan transien dan steady state error dibanding pengendalian dengan menggunakan metode Proportional-Integrative-Derivative (PID) [1]. Pada metode LQR, feedback gain dari suatu sistem kendali ditentukan dengan mengevaluasi matriks Q dan R terhadap suatu fungsi harga (cost function) sehingga memungkinkan adanya minimisasi *error* dan optimalisasi sistem kontrol[2]. Sedangkan, PID merupakan metode sistem kendali dimana

Salah satu kelemahan pengendalian menggunakan pengendali LQR adalah penentuan matriks Q dan R dengan metode *trial-and-error* yang dapat dinilai tidak efisien. Untuk mengatasi masalah ini maka digunakan algoritma-algoritma seperti algoritma genetika, evolusi differensial, *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA), dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang memungkinkan pencarian nilai Q dan R yang paling optimal berdasarkan *cost function* yang diberikan [3].

Particle Swarm Optimization merupakan algoritma sederhana yang mengadaptasi perilaku kelompok partikel dalam mencari nilai terbaik suatu objek pencarian [4]. Pada penelitian ini, algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) akan digunakan untuk mencari nilai-nilai matriks Q dan R terbaik pada metode kendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR), sehingga dapat menghasilkan sistem kendali kecepatan motor DC yang optimal.

### 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan matriks Q dan R pada metode kendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR) menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO)?
2. Bagaimana menentukan konstanta P, I, dan D pada kendali PID?

3. Bagaimana perbandingan performa system kendali motor DC dengan menggunakan PSO-LQR dan PSO-PID.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian adalah untuk membandingkan penggunaan metode kendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dan *Proportional-Integral-Derivative*(PID) pada motor DC dengan menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO).

### **1.4 Batasan Masalah**

Guna mengoptimalkan hasil penelitian, penelitian ini memberikan batasan-batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Digunakan Motor DC yang dimodelkan dalam bentuk fungsi alih dan model ruang keadaan.
2. Performa sistem kendali motor DC dievaluasi pada tanggapan undak satuan. (*rise time, overshoot, settling time, dan steady state error*).
3. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software MATLAB R2019b

### **1.5 Metode Penelitian**

Metode yang akan dilakukan untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini yaitu:

- 1 Studi Literatur  
Studi literatur adalah kajian penulis atas referensi-referensi yang ada baik berupa buku, karya-karya ilmiah, internet, maupun melalui media massa yang berhubungan dengan penulisan laporan penelitian ini.
- 2 Pengumpulan Data  
Berupa pengumpulan data sekunder parameter-parameter motor yang digunakan dalam penelitian ini.
- 3 Perancangan Sistem  
Perancangan Kendali Motor DC menggunakan kendali LQR, PID, PSO-LQR, dan PSO-PID menggunakan software MATLAB 2019b.

## **1.6 Sistematika Penelitian**

Pembahasan tugas akhir ini memiliki susunan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, ruang lingkup, dan batasan masalah, serta sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang teori penunjang yang relevan untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan data, analisa data, dan langkah-langkah penelitian.

### **BAB IV HASIL**

Pada bab ini, disajikan data hasil penelitian yaitu hasil simulasi sistem yang dirancang pada bab sebelumnya dalam grafik dan tabel dan penjelasan hasil penelitian.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dari tugas akhir dan saran untuk penelitian selanjutnya.