

## ANALISIS SISTEM KEPUTUSAN PRODUKSI DENGAN LOGIKA FUZZY BERBASIS FUZZY INTERFERENCE SYSTEM METODE MAMDANI MENGUNAKAN MATLAB

Anggara Trisna Nugraha<sup>1</sup>, Diego Ilham Yoga Agna<sup>2</sup>, Fortunaviaza Habib Ainudin<sup>3</sup>, Salsabila Ika Yuniza<sup>4</sup>,  
Muhammad Fikri Fathurrohman<sup>5</sup>

Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi D4 Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,  
ITS Sukolilo, JL. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota SBY, Jawa Timur 60111

E-mail: [anggaranugraha@ppns.ac.id](mailto:anggaranugraha@ppns.ac.id)

### ABSTRAK

Motor dc merupakan salah satu jenis motor yang mudah diaplikasikan dan memiliki rentang pengaturan kecepatan yang luas sehingga banyak digunakan di berbagai bidang industri, robotik, dan rumah tangga. Salah satu jenis motor dc adalah motor dc seri. Motor dc seri dicirikan oleh torsi awal yang besar. Karena itu, motor ini sering mengalami overshoot pada saat penyalaan awal. Selain itu, motor ini kurang stabil. Pada torsi tinggi kecepatan menurun dan sebaliknya. Namun saat tidak ada beban motor ini akan cenderung menghasilkan kecepatan yang sangat tinggi. Untuk mengatur kecepatan motor secara akurat agar mendapatkan hasil akhir yang stabil dan meminimalkan overshoot, maka perlu digunakan pengontrol. Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi perbandingan dengan MATLAB antara dua pengontrol untuk mengatur kecepatan motor dc seri, yaitu PID (Proportional – Integral – Derivative) dan LQR (Linear Quadratic Regulator). Kecepatan motor diatur dengan lima variasi kecepatan. Hasil akhir yang diperoleh dengan kedua pengontrol menunjukkan kesalahan yang sangat kecil. Kontroler PID memberikan waktu respon kecepatan rotor yang lebih pendek dibandingkan dengan LQR, tetapi pada PID masih terdapat overshoot yang besar sekitar 20% sedangkan overshoot LQR dapat dihilangkan seluruhnya. Begitu juga arus starting yang menggunakan kontroler PID jauh lebih besar dibandingkan dengan menggunakan kontroler LQR dimana overshoot arus starting yang menggunakan PID sekitar 460% sedangkan yang menggunakan LQR hanya sekitar 188%.

**Kata Kunci:** LQR, PID, Kontrol Kecepatan, Matlab

### ABSTRACT

A dc motor is one type of motor that is easy to apply and has a wide speed regulation range so it is commonly used in various industrial, robotic, and household fields. One type of dc motor is a series dc motor. The series dc motor is characterized by its large starting torque. Because of this, this motor often overshoots at the time of initial ignition. In addition, this motor is less stable. At high torque the speed decreases and vice versa. However, when there is no load this motor will tend to produce very high speeds. To adjust the motor speed accurately in order to obtain a stable final result and minimize overshoot, it is necessary to use a controller. In this thesis, a simulation comparison with MATLAB between two controllers to regulate the speed of a series dc motor is carried out, namely PID (Proportional – Integral – Derivative) and LQR (Linear Quadratic Regulator). Motor speed is regulated with five speed variations. The final results obtained with both controllers show very small errors. The PID controller provides a shorter rotor speed response time than the LQR, but at the PID there is still a large overshoot of about 20% while the LQR overshoot can be completely eliminated. Likewise, the starting current using the PID controller is much greater than using the LQR controller where the overshoot of the starting current using the PID is around 460% while using the LQR is only about 188%.

**Keyword :** Dc motor, series, LQR, PID, speed control, matlab

## 1. PENDAHULUAN

Motor DC merupakan jenis motor yang mudah diaplikasikan dan memiliki rentang pengaturan kecepatan yang luas sehingga banyak digunakan di berbagai bidang industri, robot, dan rumah tangga. Salah satu jenis motor dc adalah motor dc seri. Motor dc seri dicirikan oleh torsi awal yang besar. Karena itu, motor ini sering mengalami overshoot

pada saat pengapian awal. Selain itu, motor ini kurang stabil. Pada torsi tinggi kecepatan menurun dan sebaliknya. Namun saat tidak ada beban motor ini akan cenderung menghasilkan kecepatan yang sangat tinggi. Dalam penggunaan motor, yang sering dibutuhkan adalah kecepatan yang dapat diubah-ubah. Demikian juga, pengaturan perpindahan rotasi halus diperlukan untuk

mengurangi getaran dan kejutan mekanis selama pengapian awal. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan suatu sistem kendali. Pada umumnya sistem kendali digunakan untuk permasalahan yang berkaitan dengan tingkat overshoot, settling time, dan kestabilan sistem pada saat motor ingin menuju keadaan tunak. Salah satu sistem kendali yang telah banyak digunakan adalah sistem kendali Proporsional – Integral – Derivatif (PID). PID memiliki struktur yang sederhana dan mudah untuk melakukan tuning parameter. Namun masih banyak sistem kontrol lain yang dapat digunakan, salah satunya adalah Linear Quadratic Regulator (LQR). Berdasarkan hal di atas, penulis tertarik untuk membandingkan kinerja kontrol PID dan LQR. Dengan diperolehnya hasil perbandingan respon sistem, diharapkan dapat ditentukan kinerja sistem kendali mana yang lebih optimal.

Pada penelitian ini dapat diketahui bagaimana cara menentukan parameter kontroler PID dan LQR untuk mengendalikan motor dc, bagaimana merancang dan mensimulasikan kontroler PID dan LQR dalam menciptakan motor dc yang stabil pada kecepatan yang diinginkan, dan perbandingan keduanya. respon sistem dari dua kontroler yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performansi kontroler PID dan LQR pada motor dc dalam mencapai keadaan tunak sesuai dengan kecepatan motor yang diinginkan, mendapatkan hasil respon output yang optimal dari masing-masing kontroler dari simulasi yang dilakukan, mendapatkan kurva perbandingan untuk respon sistem yang dihasilkan. oleh kontroler PID dan LQR.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Proportional Integral Derivative

Control Proportional Integral Derivative Control (PID) merupakan pengontrol mekanisme umpan balik yang biasa digunakan pada sistem kontrol industri. Kontroler PID secara terus menerus menghitung nilai kesalahan sebagai perbedaan antara setpoint yang diinginkan dan variabel proses yang diukur. Kontroler mencoba meminimalkan nilai kesalahan dari waktu ke waktu dengan mengatur variabel kontrol, seperti posisi katup kontrol, peredam, atau daya pada elemen pemanas, ke nilai baru yang ditentukan oleh jumlah. Ini dapat menggabungkan pengontrol proporsional, integral, dan turunan. Kontroler ini diwakili oleh persamaan berikut

$$m(t) = K_p.e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t)dt + K_p.T_d \frac{de(t)}{dt}$$

di mana  $K_p$  adalah konstanta proporsional,  $T_i$  adalah waktu integral, dan  $T_d$  adalah waktu turunan.

Persamaan 1 adalah persamaan dalam domain waktu. Untuk memudahkan penulisan dalam program, persamaan 1 diubah ke dalam bentuk diskrit, menggunakan *diferensial hingga* yang disajikan dalam persamaan berikut:

$$\frac{Df}{Dt} \Big|_k = \frac{(f_k - f_{k-1})}{\Delta t}$$

$$\int e(t)dt = \sum_{k=0}^n e_k .\Delta t$$

Sehingga persamaan 1 menjadi:

$$m_n = K_p \left[ T_d \frac{(e_n - e_{n-1})}{\Delta t} + e_n + \frac{1}{T_i} \sum_{k=0}^n e_k .\Delta t \right]$$

Dimana:

$$K_i = K_p \frac{T_s}{T_i} \quad K_d = K_p \frac{T_d}{T_s}$$

dan

dengan  $\Delta t = T_s$  jika  $S_n = S_{n-1} + e_n$

Maka persamaan kontroler PID dalam bentuk diskrit adalah sebagai berikut:

$$m_n = K_p .e_n + K_i .S_n + K_d .(e_n - e_{n-1})$$

Dimana  $S_n$  = jumlah kesalahan,  $S_{n-1}$  = jumlah kesalahan sebelumnya,  $e_n$  = kesalahan saat ini,  $e_{n-1}$  = kesalahan sebelumnya,  $m_n$  = keluaran saat ini. persamaan *fungsi alih* motor DC adalah sebagai berikut:

$$\frac{Kt}{(L \times J)s^2 + (L \times b + R \times J)s + (R \times b + Kt \times Ke)}$$

### 2.2 Kontrol Regulator Kuadrat Linier

Untuk mendapatkan kriteria kinerja yang diinginkan yang memenuhi batas-batas fisik adalah tujuan dalam kontrol yang optimal. Masalah regulator akan diselesaikan dengan menggunakan metode kontrol optimal pada sistem linier dengan kriteria kuadrat. Dikatakan linier karena model dan bentuk pengontrolnya linier, sedangkan kuadratik karena memiliki fungsi biaya yang bersifat kuadratik dan karena sistem acuannya bukan merupakan fungsi waktu maka disebut regulator.

Hasil linearisasi tanaman linier diperoleh dalam bentuk:

$$x' = Ax + Bu$$

$$y = Cx$$

Dimana  $A$  = Sistem matriks,  $B$  = Matriks masukan,  $C$  = Keluaran matriks,  $y$  = keluaran keadaan,  $x$  = keadaan sistem,  $u$  = masukan keadaan.

Penentuan nilai matriks  $Q$  dan  $R$  merupakan nilai yang akan ditentukan terlebih dahulu dalam perancangan kontroler LQR optimal. Setelah matriks  $Q$  dan  $R$  diperoleh, langkah selanjutnya adalah menentukan indeks kinerja sistem. Penggunaan indeks kinerja ditentukan sesuai dengan kriteria matriks harga  $Q$  dan  $R$  [2].

$$J(t_0) = \frac{1}{2} x^2(T)S(T)x(T) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^T (x^2 Qx + u^2 Ru)$$

Dengan syarat:

$$S(T) \geq 0, Q \geq 0, R > 0$$

Dimana  $t_0$  = waktu awal,  $T$  = waktu akhir,  $x(T)$  matriks keadaan akhir,  $Q$  = matriks semi definit positif,  $R$  = matriks definit positif,  $S$  = matriks semi definit positif.

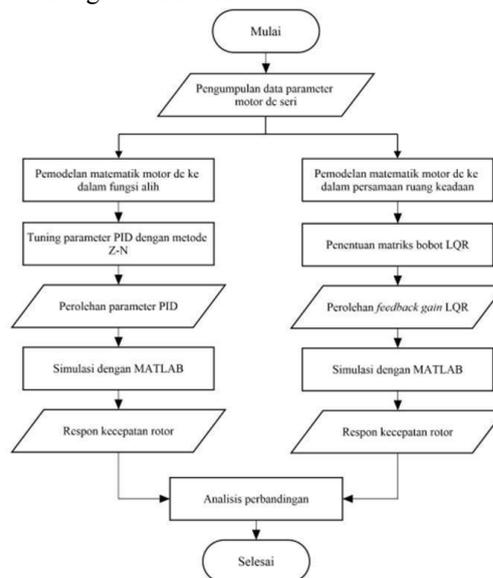
### 2.2 MATLAB (Matrix Laboratory)

Matrix Laboratory (MATLAB) adalah program untuk menganalisis dan menghitung data numerik, juga merupakan bahasa pemrograman matematika tingkat lanjut, dibangun di atas premis menggunakan sifat dan bentuk matriks [2]. MATLAB dapat diperluas, artinya pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan ke perpustakaan ketika fungsi bawaan yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu. Keterampilan pemrograman yang dibutuhkan tidak terlalu sulit jika kita sudah memiliki pengalaman dalam pemrograman bahasa lain seperti C, PASCAL, atau FORTRAN.

### 3. METODE PENELITIAN

Mengambarkan hasil analisis kualitatif dan/atau kuantitatif dengan penekanan pada jawaban atas masalah. Isi dari pembahasan ini memuat segala sesuatu tentang kegiatan yang dilakukan dalam makalah. Mulai dari konsep, desain, hipotesis (jika ada), eksperimen, data observasi, dan hasil dari data observasi yang ada.

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram

#### a. Persamaan

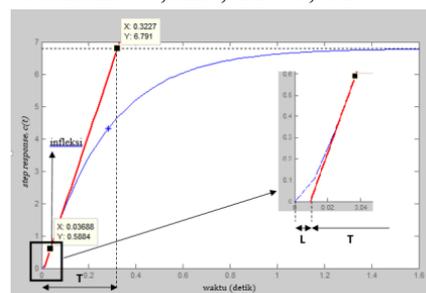
##### i. Perolehan Data

Parameter	Simbo	Besar dan
Momen Inersia	$J_m$	0,0007046 kg.m <sup>2</sup>
Koefisien gesekan	$B_m$	0,0004 Nm/(rad/s)
Konstanta torsi	$K_t$	0,1236 Nm/A
Konstanta	$K_b$	0.1235 V/(rad/s)
Resistansi total koil	$R_t$	7.2 ohm
Induktansi total koil	$L_t$	0,0917 H

Tabel 1. Data

##### ii. Diperoleh Perolehan Data Parameter PID

Nilai yang perlu dicari dari kurva adalah nilai waktu tunda ( $L$ ) dan nilai konstanta waktu ( $T$ ). Dengan menggunakan persamaan garis lurus akan ditentukan nilai  $L$  dan  $T$ . Pada Gambar 4.4 dapat dilihat terdapat 2 titik dengan koordinat :  $X_1 = 0,03688$ ,  $Y_1 = 0,5884$  dan  $X_2 = 0,3227$ ,  $Y_2 = 6,791$



Gambar 2. Parameter PID

Bentuk umum persamaan garis lurus:

$$Y_2 - Y_1 = m(X_2 - X_1)$$

di mana  $m$  adalah kemiringan garis.

$$6.791 - 0.5884 = m(0.3227 - 0.03688)$$

$$m = \frac{6.791-0.5884}{0.3227-0.03688}$$

$$m = 21.701$$

Garis singgung menyentuh sumbu x pada titik dengan koordinat (X,0), maka

$$Y_2 - 0 = m(X_2 - X)$$

$$6.791 - 0 = 21.701(0.3227 - X)$$

$$X = 0.3227 - \frac{6.791}{21.701}$$

$$X = 0.009765$$

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai  $L$  sama dengan  $X$ . Jadi  $T$  sama dengan  $X_2 - L$

$$L = 0.009765, \text{ maka } T = 0.3227 - 0.009765 = 0.3130$$

Setelah nilai  $L$  dan  $T$  didapat, kita dapat menentukan nilai parameter PID

Konstanta Proporsional ( $K_p$ ):

$$K_p = 1.2 \left( \frac{T}{L} \right)$$

$$K_p = 1.2 \left( \frac{0.3130}{0.009765} \right)$$

$$K_p = 38,464$$

Konstanta Integral ( $K_i$ ):

$$T_i = 2L, K_i = \frac{K_p}{T_i} \text{ maka:}$$

$$K_i = \frac{K_p}{2L} = \frac{38,464}{2(0,009765)} = 1969,483$$

Konstanta Derivatif ( $K_d$ ):

$$T_i = 0.5L, K_d = T_d K_p \text{ maka:}$$

$$K_d = 0.5L(K_p) = 0.5(0.009765)(38.464) = 0.$$

### iii. PID Parameter

Pada simulasi LQR, motor dimodelkan dalam bentuk suatu ruang keadaan, yaitu :

$$\dot{X}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$Y(t) = Cx(t)$$

Dimana matriks A, B, C ditentukan oleh :

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K_b}{L} & \frac{K_t}{J_m} & -\frac{B_m}{J_m} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix},$$

$$\text{dan } C = [0 \ 1]$$

Dengan memasukkan data dari Tabel 4.1 ke dalam persamaan matriks, diperoleh:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{7.2}{0,0917} & -\frac{0,1236}{0,0917} & \frac{0,1236}{0,0007046} & -\frac{0,0004}{0,0007046} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{0,0917} & 0 \end{bmatrix},$$

$$C = [0 \ 1], \text{ dan } D = [0]$$

Memperoleh Parameter LQR Untuk mendapatkan matriks Q dan R, program script matlab dengan metode trial and error dapat dilihat pada Lampiran II, dimana kondisi matriks Q adalah real matriks semidefinite positif ( $Q \geq 0$ ) dan matriks R adalah matriks pasti positif nyata ( $R > 0$ ).

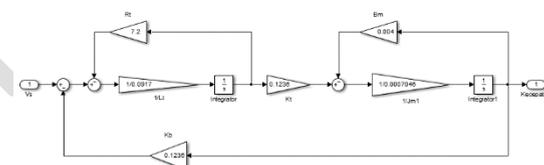
Nilai awal  $Q = [1 \ 0 \ 0 \ 1]$  dan

$$R = [1],$$

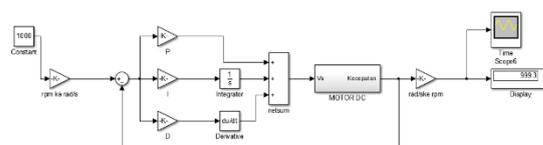
$$K = [1.2892 \ 0.6016]$$

## b. Gambar

### i. Rangkaian Simulasi PID 3. Rangkaian

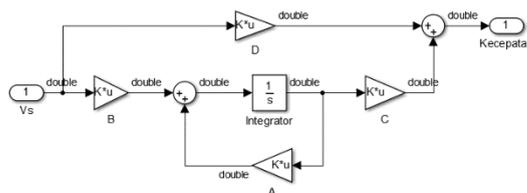


Gambar 3. Simulink Motor DC Seri dengan PID

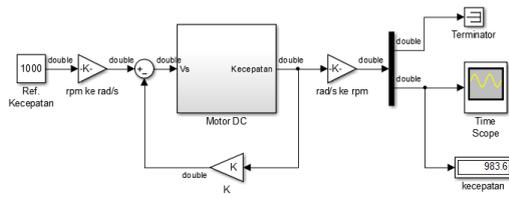


Gambar 4. Rangkaian Simulasi PID

### ii. Rangkaian Simulasi LQR



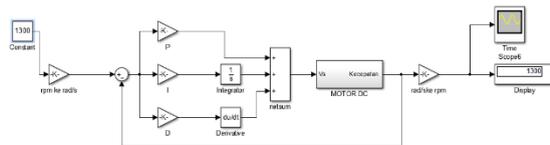
Gambar 5. Rangkaian DC Seri Rangkaian Simulink Motor dengan LQR



Gambar 6. Rangkaian Simulasi LQR

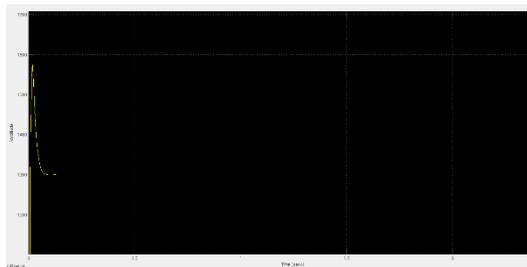
### 3.2 Simulasi

#### 3.2.1 PID Simulasi PID pada Kecepatan Referensi 1300 rpm



Gambar 7. Rangkaian Simulasi PID pada Kecepatan Referensi 1300 rpm

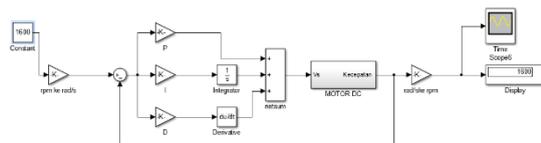
Didapatkan kecepatan yang stabil sebesar 1300 rpm. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1300 rpm ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 8. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1300 rpm dengan kontrol PID

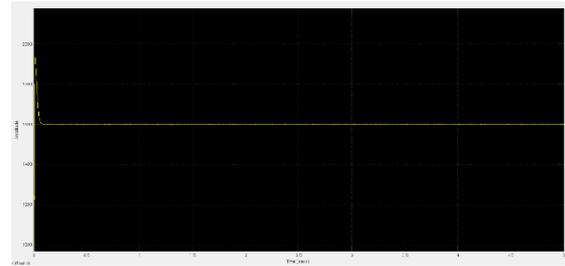
Parameter yang diperoleh dari respon kecepatan rotor: Rise time : 6.995 ms  
Settling time : 53,7 ms  
Maks. Overshoot : 21,09 %  
Steady state error : 0 %

#### 3.2.2 Simulasi PID pada Kecepatan Referensi 1600 rpm



Gambar 9. Rangkaian Simulasi PID pada Kecepatan Referensi 1600 rpm

Diperoleh kecepatan tunak 1600 rpm. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1600 rpm ditunjukkan pada Gambar 7.

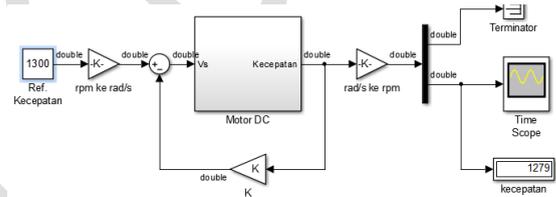


Gambar 10. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1600 rpm dengan Kontrol PID

Parameter respons kecepatan rotor yang diperoleh adalah : Rise time : 7.067 ms  
Settling time : 53,8 ms  
Maks. Overshoot : 21,05%  
Error steady state : 0 %

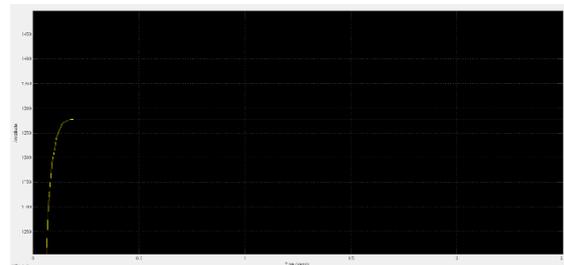
### 3.3 Simulasi LQR pada kecepatan referensi 1600 rpm

#### 3.3.1 Simulasi LQR pada kecepatan referensi 1300 rpm



Gambar 11. Rangkaian simulasi LQR pada

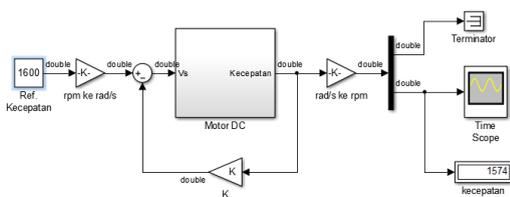
kecepatan referensi 1300 rpm Didapatkan kecepatan tunak 1300 rpm. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1300 rpm ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1300 rpm dengan kontrol LQR

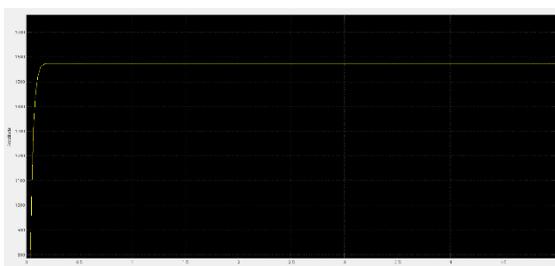
Parameter yang didapat dari respon kecepatan rotor : Rise time : 89,743 ms  
Settling time : 166,9 ms  
Maks. Overshoot : 0 %  
Steady state error : 0 %

#### 3.3.2 Simulasi LQR pada Kecepatan Referensi 1600 rpm



Gambar 13. Rangkaian Simulasi LQR pada Kecepatan Referensi 1600 rpm

Diperoleh kecepatan tunak 1600 rpm. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1600 rpm ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 14. Respon kecepatan rotor pada kecepatan referensi 1600 rpm dengan kontrol LQR

Parameter respon kecepatan rotor yang didapat :  
Rise time : 90,340 ms  
Settling time : 164,1 ms  
Maks. Overshoot : 0 %  
Error steady state : 0 %

### 3.4 Tabel Perbandingan

Kont roler	Kecepatan (rpm)	Rise Time (ms)	Settling Time (ms)	Max.O ver Shoot (%)	Erro r Steady (%)
PID	1300	6.995	53.7	21.09	0
	1600	7.067	53.8	21.05	0
LQR	1300	89.743	166.9	0	0
	1600	90.340	164.1	0	0

Tabel 2. Tabel Perbandingan

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Dalam mencapai kecepatan tunak, PID memberikan waktu yang lebih singkat dibandingkan LQR seperti yang dapat kita lihat pada hasil simulasi, rise time dan settling time yang diperoleh dengan menggunakan PID lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan LQR.
2. Karakteristik respon kecepatan rotor yang diperoleh dengan menggunakan LQR tidak mengalami overshoot sama sekali, sedangkan dengan menggunakan PID overshoot yang dihasilkan cukup besar yaitu sekitar 20%.
3. Dari lima percobaan variasi kecepatan untuk masing-masing kontroler, PID memiliki error

steady state dua kali sedangkan LQR memiliki error steady state satu kali.

4. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi kecepatan yang diterapkan pada motor dc seri dengan kontrol PID dan LQR tidak berpengaruh nyata terhadap respon. kecepatan rotor untuk mencapai kecepatan tetap.
5. Persentase maks. Overshoot arus jangkar yang terjadi dengan menggunakan kontroler PID adalah sekitar 460% sedangkan menggunakan kontroler LQR adalah sekitar 188%, yang berarti arus start menggunakan kontroler PID jauh lebih besar daripada menggunakan kontroler LQR.

Saran untuk penelitian ini adalah

1. metode tuning PID dapat digunakan metode lain seperti metode Chien, Hrones dan Reswick.
2. Penelitian dilakukan dengan memberikan berbagai beban puntir.

## REFERENSI

- [1]. Mehta, VK dan Rohit Mehta. 2002. Prinsip Mesin Listrik. New Delhi: S. Chand & Company LTD.
- [2]. Saturnus. 2000. Dasar Teknik Elektro dan Elektronika Tenaga. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [3]. Lister, Eugene C. 1986. Mesin dan Sirkuit Listrik (Edisi ke-6). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [4]. Rijono, Yon. 1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Yogyakarta: Andi Offset.
- [5]. Chapman, Stephen J. 2005. Dasar-Dasar Mesin Listrik Edisi ke-4. Singapura: Edisi Internasional McGraw-Hill.
- [6]. Dwivedi, Rajkumar dan Devendra Dohare. 2015. Kontroler Konvensional PID dan Kontroler Optimal LQR untuk Analisis Kecepatan Motor DC: Studi Banding. Jurnal Penelitian Internasional Teknik dan Teknologi. 02(08): 508-511. [
- [7]. C.Kuo, Benyamin. 1995. Sistem Kontrol Otomatis Edisi Ketujuh. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- [8]. L. Philips, Charles & Royce D. Harbor. Sistem Kontrol Umpan Balik 3e. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- [9]. Lewis, FL 1996. Kontrol Optimal. Kanada: John Wiley & Sons Inc.
- [10]. Ogata, Katsuhiko. 1997. Teknik Kontrol Otomatis (Pengaturan Sistem) Volume 1 Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.
- [11]. Ogata, Katsuhiko. 2010. Rekayasa Kontrol Modern Edisi Kelima. New Jersey (AS): Pearson Education Inc.
- [12]. Bimbira, PS 1990. Mesin Listrik. Delhi: Penerbit Khana.

- [13]. Linsley, Trevor. 1998. Pekerjaan Instalasi Listrik Dasar Edisi Ketiga. Kidlington (Inggris): Elsevier Ltd.
- [14]. Anggono, Tri. 2011. Perancangan Sistem Kontrol Tekanan Steam Pada Steam Drum Boiler Skala Kecil Menggunakan PID dan LQR [tesis]. Depok (ID): Universitas Indonesia.
- [15]. Fitzgerald. AE 1992. Mesin Listrik (Edisi ke-4). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [16]. Berahim, Hamzah. 1994. Pengantar Teknik Elektro. Yogyakarta: Andi Offset.
- [17]. Mehta, Samir & John Chiasson. 1998. Kontrol Nonlinier Motor DC Seri: Teori dan Eksperimen. *Transaksi IEEE pada Elektronik Industri*. 45(1): 134-141.
- [18]. Dubey, Saurabh & SK Srivastava. 2013. Analisis Real Time Motor DC Terkendali PID. *Jurnal Internasional Penelitian Inovatif di Teknik Komputer dan Komunikasi*. 01(8): 1965-1973.
- [19]. Nugraha, Anggara Trisna, Dadang Priyambodo, dan Sryang Tera Sarena. "Desain Pengisi Daya Baterai Berbasis Arduino Uno untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin." *JPSE (Jurnal Ilmu Fisika dan Teknik)* 7.1 (2022): 23-38.
- [20]. Ravi, Alwy Muhammad, Hendro Agus Widodo, dan Anggara Trisna Nugraha. "PENGARUH PENGGUNAAN METODE KONTROL PI PADA KONTROL EKSITASI GENERATOR SINKRON." *Seminar MA MASTER PPNS*. Jil. 6. No. 1. 2021.
- [21]. Nugraha, Anggara Trisna, dkk. "Pemodelan Sistem Kontrol Arus Rem Menggunakan Linear Quadratic Regulator (LQR) dan Proportional Integral Derivative (PID)." *Jurnal Elektronika, Teknik Elektromedis, dan Informatika Medis Indonesia* 4.2 (2022): 85-93.