

Pengontrol Kecepatan Respon Motor dengan Pid dan Lqr

Fortunaviaza Habib Ainudin^{1*1}, Muhammad Bilhaq Ashlah², Anggara Trisna Nugraha³

¹Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, 60111, Indonesia
Email: fhabib@student.ppns.ac.id¹, bilhaqashlah29@student.ppns.ac.id², anggaranugraha@ppns.ac.id³

Abstrak

Sistem kontrol dapat dikatakan baik jika menghasilkan respon dengan nilai *settling time* dan *rise time* yang rendah. Namun akan lebih baik lagi jika sistem tersebut juga memiliki respon kecepatan putar yang responsif, sehingga dikatakan sebagai sistem yang optimal. Pada paper ini, penulis akan merancang dan merealisasikan suatu kendali kecepatan motor dc dengan kendali optimal dengan tujuan untuk memperbaiki nilai *settling time* *rise time* dan merancang gain feedback K yang dapat meminimalkan fungsi biaya. Jenis metode kontrol optimal yang akan digunakan adalah metode proportional integral-derivative (PID) dan algoritma Linear Quadratic Regulator (LQR). Dimana untuk mengendalikan kecepatan motor dc, optimasi dilakukan dengan mengatur nilai matriks Q dan R yang nantinya dapat merubah nilai K. Motor dc yang akan dikendalikan harus dimodelkan terlebih dahulu dalam PID Controller agar dapat dimasukkan dalam perhitungan metode LQR. Proses pengendalian (simulasi respon dan implementasi hasil perhitungan LQR) dilakukan dengan menggunakan Simulink Matlab.

Kata kunci: Proportional Integral Derivative (PID), Linear Quadratic Regulator (LQR), DC motor, kecepatan respon.

Abstract

The control system can be considered good if it produces a response with a low value of settling time and rise time. But it would be even better if the system also had a responsive rotational response speed, so it was said to be an optimal system. In this paper, the author will design and realize a dc motor speed control with optimal control with the aim of improving the settling time rise value and designing a gain feedback K that can minimize the cost function. The type of optimal control method that will be used is the proportional-integral-derivative (PID) method and the Linear Quadratic Regulator (LQR) algorithm. To control the speed of the DC motor, optimization is done by adjusting the matrix values of Q and R which later can change the value of K. The dc motor to be controlled must be modeled first in the PID Controller so that it can be included in the calculation of the LQR method. The control process (response simulation and implementation of LQR calculation results) is carried out using Simulink Matlab.

Keywords : *proportional-integral-derivative (PID), Linear Quadratic Regulator (LQR), DC motor, response speed.*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Sistem kontrol mampu memberikan dampak positif terhadap output suatu sistem. Hal ini dapat ditunjukkan dari respon sistem yang lebih baik dan kesalahan keadaan tunak yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem tanpa otak. Dalam pengelompokan sistem kontrol, diharapkan sistem dapat bekerja dengan aturan metode yang optimal untuk mendapatkan hasil yang terbaik dengan memperhatikan suasana dan hambatan dari sistem tersebut. (Nugraha, 2021).

Sistem kontrol yang baik adalah sistem kontrol yang memiliki respon yang cepat dan stabil. Hal ini dapat diketahui dari indikator-indikator kinerja sistem. Dalam sistem kendali optimal sering mengacu pada angka minimal, misalnya meminimalkan kesalahan, waktu, dan biaya. Tidak lain adalah respon ketangkasan motor DC otak (Ali Muhammad, 2004).

Pada paper ini dirancang pengendalian motor DC yang optimal dengan menggunakan metode proportional-integral derivative (PID) dan Algoritma Linear Quadratic Regulator (LQR). Dimana untuk mengendalikan kecepatan motor DC, optimasi dilakukan dengan mengatur nilai matriks Q dan R yang nantinya dapat merubah nilai K. Motor DC yang akan dikendalikan harus dimodelkan terlebih dahulu pada PID Controller agar dapat dimasukkan dalam perhitungan metode LQR. (Nugraha, 2021).

Dalam merancang kendali optimal LQR tidak lepas dari pemodelan matematis plant dari suatu sistem. Dari pemodelan matematis plant akan diperoleh fungsi transfer. Dari fungsi transfer plant akan diperoleh state space plant

yang digunakan dalam merancang kendali optimal LQR. Oleh karena itu dengan melakukan optimasi menggunakan Metode dan Algoritma LQR sehingga akan diperoleh motor DC yang stabil dan responsif. ¹

1.2 Rumusan Masalah

Dalam pembuatan paper ini, ditemukan beberapa rumusan masalah, antara lain:

1. Bagaimana cara mengontrol kecepatan respons motor DC,
2. Terapkan metode kontrol PID ke kontrol kecepatan respons motor DC,
3. Menerapkan metode kontrol LQR ke kontrol kecepatan respons motor DC.

1.3 Tujuan

Tujuan dari paper ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu mengontrol kecepatan respon motor DC sesuai yang diinginkan,
2. Mampu memahami metode kontrol PID,
3. Mampu memahami metode kontrol LQR.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Kontrol PID

Pengontrol PID (dari singkatan bahasa Inggris: Proportional Integral-Derivative controller) adalah pengontrol metode umpan balik yang biasa digunakan dalam sistem kontrol industri. Pengontrol PID terus menerus menghitung nilai kesalahan sebagai perbedaan antara setpoint yang diinginkan dan elastis yang diukur. Pengontrol mencoba meminimalkan jumlah kesalahan per durasi dengan menyesuaikan elastis kontrol, seperti posisi katup kontrol, peredam, atau energi pada sisi pemanas (Ferdinandus, 2018), ke nilai saat ini yang ditentukan oleh jumlah:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

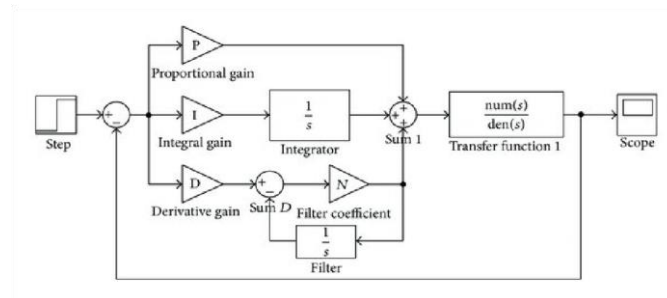
Dimana K_p , K_i , K_d , semuanya positif, menandakan koefisien untuk suku proporsional, integral, dan derivatif, masing-masing (atau P, I, dan D). Dalam model ini,

1. P bertanggung jawab atas nilai kesalahan saat ini. Misalnya, jika nilai kesalahan besar dan positif, maka output kontrol juga besar dan positif,
2. I bertanggung jawab atas nilai kesalahan sebelumnya. Misalnya, jika arus keluaran kurang besar, maka kesalahan akan terakumulasi secara terus menerus, dan pengontrol akan merespon dengan keluaran yang lebih tinggi,
3. D bertanggung jawab atas nilai kesalahan yang mungkin terjadi di masa depan, berdasarkan tingkat perubahan dari waktu ke waktu.

Karena pengontrol PID hanya mengandalkan variabel proses yang dapat diukur, bukan pengetahuan tentang proses, maka pengontrol ini dapat digunakan secara luas (Ravi, 2021). Dengan menyetel tiga parameter model, pengontrol PID dapat memenuhi persyaratan metode. Respons pengontrol dapat dijelaskan dengan cara merespons kesalahan, jumlah overshoot dari setpoint, dan tingkat osilasi sistem. penggunaan algoritma PID tidak menjamin kontrol ideal sistem atau stabilitasnya..

Sebagian aplikasi mungkin hanya menggunakan satu atau dua istilah untuk menyediakan kontrol sistem yang sesuai. Hal ini dapat dicapai dengan mengendalikan parameter lain menjadi nol. Pengontrol PID dapat berupa pengontrol PI, PD, P atau I tergantung pada tindakan apa yang digunakan. Pengontrol PI biasanya merupakan pengontrol yang paling umum (Ravi, 2021).

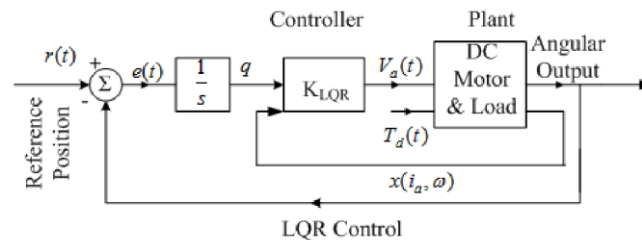
¹*Fortunaviaza Habib Ainudin^{1*}, Muhammad Bilhaq Ashlah², Anggara Trisna Nugraha³



Gambar 1. Kontrol PID.

2.2. Linear Square Regulator (LQR)

Linear Quadratic Regulator (LQR) merupakan salah satu metode kontrol optimal pada sistem berbasis ruang atmosfer. Kontroler LQR memiliki 2 tolak ukur yaitu matriks bobot Q dan R yang harus ditentukan agar dapat menghasilkan perilaku kontrol yang optimal sesuai imajinasi. Berbeda dengan kontroler Proportional-Integral-Derivative (PID) yang memiliki metode tuning dengan pendekatan analitik yang mirip dengan Ziegler Nichols dan Cohen-Coon, kontroler LQR tidak memiliki metode tuning khusus penentuan aturan dengan aturan metode analitik untuk memperbaiki matriks bobot Q dan R (Nugraha, 2017).



Gambar 2. Kontrol LQR.

2.3. Motor DC

Motor DC adalah perangkat yang mengubah energi listrik menjadi energi kinetik atau gerak. Motor DC juga bisa disebut sebagai motor arus searah. Seperti namanya, motor DC memiliki 2 terminal dan membutuhkan tekanan arus searah atau DC (Direct Current) untuk dapat menggerakkannya (Nugraha, 2021).



Gambar 3. Motor DC.

3. Metode Penelitian

3.1 Langkah Penelitian

Dalam penelitian ini, beberapa proses akan dilakukan secara bertahap dan berurutan guna mencapai tujuan dari penelitian ini. Tahap pertama adalah melakukan kajian literatur yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Tinjauan pustaka tersebut berkaitan dengan pengendali PID proporsional-integral derivatif dan LQR (Linear Quadratic Regulator) serta simulasi pada Matlab dimana materi-materi tersebut terdapat pada jurnal ilmiah, prosiding dan buku teks.

Pada tahap ketiga, dilakukan perancangan kontroler untuk sistem agar dapat mencapai tujuan secara keseluruhan. Untuk itu perlu dilakukan analisis secara detail permasalahan yang terjadi dalam pengendalian gerak posisi motor DC.

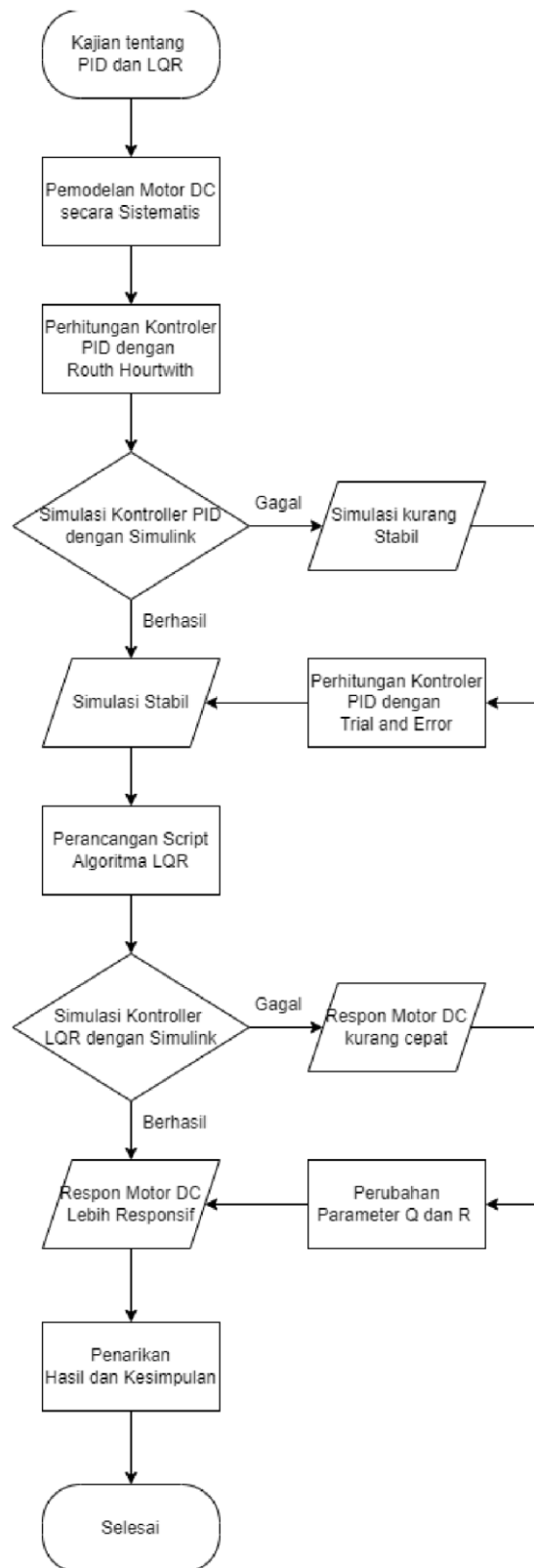
Tahap keempat implementasi melalui simulasi sehingga dapat diketahui respon dari kontroler yang diterapkan pada plant yaitu data simulasi gerak pada motor DC yang ditentukan, nilai error steady state yang diperoleh, kemampuan mengatasi gangguan yang diberikan dan mengetahui tingkat kestabilan dari motor DC.

Tahap selanjutnya adalah menguji dan menganalisa skema kontroler yang telah diterapkan apakah sudah sesuai dengan desain matematisnya. Jika hasilnya belum optimal, maka dapat dilakukan perubahan atau modifikasi pada sistem atau skema kontrol yang digunakan.

Langkah terakhir dari penelitian ini adalah menarik kesimpulan dari apa yang telah dilakukan, jika hasil pengujian menunjukkan bahwa tujuan penelitian telah tercapai, maka penelitian telah berhasil menyelesaikan permasalahan dan tujuan dari penelitian tercapai.

3.2 Diagram Alir

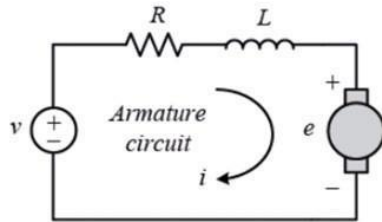
Berikut ini adalah diagram alir yang digunakan sebagai ilustrasi langkah-langkah dalam paper:



Gambar 4. Diagram Alir

3.3 Pemodelan Sistematis

Karena alat ini merupakan implementasi dari posisi motor DC, maka digunakan rangkaian motor DC. Untuk melakukan pemodelan, ada dua bagian yang akan dianalisa dalam rangkaian ini yaitu, sistem kelistrikan dan kesatuan sistem motor DC (Realdo, 2021).



Gambar 5. Rangkaian Motor DC

Hukum Kirchoff:

$$- Ri + Li' + e = 0 \quad (2)$$

$$Lt' = V - e - Ri \quad (3)$$

Dimana $e = Ke'$ sehingga:

$$Li' = V - Ke' - Ri \quad (4)$$

$$t' = i \quad (5)$$

Hukum Newton:

$$J'' = T - d \quad (6)$$

Dengan asumsi medan magnet konstan,
dimana:

$$T = Kt.i \quad (7)$$

$$d = b' \quad (8)$$

Sehingga:

$$J\theta'' = Kt.I - b'\theta' \quad (9)$$

$$\theta'' = \frac{Kt}{J}i - \frac{b'}{J}\theta' \quad (10)$$

State Space

Variabel State

$$X1 = \theta$$

$$X2 = \theta'$$

$$X3 = I$$

Input Tegangan (v)

$$x1 = \theta' = x2 \quad (11)$$

$$x2 = \theta'' = \frac{Kt}{J}i - \frac{b'}{J}\theta' = \frac{Kt}{J}x3 - \frac{b'}{J}x2 \quad (12)$$

$$x3 = i' = \frac{v}{L} - \frac{Ke}{L}\theta' - \frac{R}{L}I - \frac{Ke}{L}x2 - \frac{R}{L}x3 \quad (13)$$

Representasi State Space

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -b'/J & Kt/J \\ 0 & -Ke/L & -R/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/L \end{bmatrix} V \quad (14)$$

$$B = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/L \end{bmatrix} V \quad (15)$$

$$C = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$D = [0] \quad (17)$$

Mengubah Ruang Keadaan ke Fungsi Transfer:

$$G(s) = C(1.s - A)^{-1}B + D \quad (18)$$

$$G(s) = C = [1 \ 0 \ 0] \text{ inv} \{ [s \ 0 \ 0 \ 0 \ s \ 0 \ 0 \ 0 \ s] - [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ -b/j \ -K/j \ 0 \ -K/L \ -R/L] \} 0 \ 0 \ 1/L + [0] \quad (19)$$

$$G(s) = \frac{k}{jls^3 + bts^2 + jrs^2 + k^2 + brs} \quad (20)$$

Parameter

- r = 3;
- L = 3;
- b = 0.1;
- K = 0.1;
- J = 0.1;

$$G(s) = \frac{10k}{30s^3 + 60s^2 + 31s} \quad (21)$$

4. Hasil dan Diskusi

4.1 Kontrol PID

Menghitung Gain Margin dan Margin Frekuensi menggunakan C9n Routh Hurwitz.

$$\frac{C(s)}{G(s)} = \frac{KG(s)}{1 + KG(s) \cdot H(s)} \quad (22)$$

Jadi

$$1 + KG(s) \cdot H(s) = 0 \quad (23)$$

$$1 + \frac{10K}{30s^3 + 60s^2 + 31s} = 0 \quad (24)$$

$$30s^3 + 60s^2 + 31s + 10K = 0 \quad (25)$$

Dimana:

S^3	30	31
S^2	60	10K
S^1	b1	b2
S^0	c1	c2

$$b1 = \frac{(60 \cdot 31) - (30 \cdot 10K)}{60} = \frac{1860 - 300K}{60} = 31 - 5K \quad (26)$$

$$b2 = 0 \quad (27)$$

$$c1 = \frac{31 - 5K \cdot 10K - 60 \cdot 0}{31 - 5K} = 10K \quad (28)$$

$$c2 = 0 \quad (29)$$

Mencari area yang stabil:

Kondisi untuk kestabilan Routh adalah tidak boleh ada perubahan tanda pada kolom pertama, sedangkan kolom 3 dan 4 adalah positif, sehingga b1 dan c1 lebih dari 0, maka:

$$b1 > 0 \quad (30)$$

$$31 - 5k > 0 \rightarrow -5k > -31K \rightarrow k < \frac{31}{5} \quad (31)$$

$$c1 < 0 \quad (32)$$

$$10K > 0 \quad (33)$$

$$K > 0 \quad (34)$$

$$So \rightarrow 0 < K \frac{31}{5} \quad (35)$$

$$K = \frac{31}{5} = 6,2 \quad (36)$$

Menghitung Frekuensi Margin:

S_3	30	31
S^3	60	62

Row 3		
Row 4		

$$60s^2 + 62 = 0 \quad (37)$$

$$S_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \cdot j \quad (38)$$

$$S = \frac{-0 \pm \sqrt{0 - 4(60)(62)}}{2(60)} \cdot j \quad (39)$$

$$S = \frac{\pm \sqrt{-14880}}{120} \cdot j \rightarrow S = \frac{121,983}{120} \cdot j \rightarrow S = 1,0165 \cdot j \rightarrow Wc = 1,016 \text{ rad/sec} \quad (40)$$

Parameter kontroler PID menggunakan metode osilasi Z-N.

- Parameter Controller

	Kp	Tr	Td
P	0,5Kc		
PI	0,45Kc	Pc/1,2	
PID	0,6Kc	0,5Pc	Pc/8

- Persamaan pengendali P, PI, dan PID

1. Controller P

$$G_{C(s)} = 0,5Kp \quad (41)$$

$$G_{C(s)} = 0,5 \times 6,2 = 3,1 \quad (42)$$

2. Controller PI₁

$$G_{C(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Tr \cdot s} \right) \quad (43)$$

$$G_{C(s)} = 2,79 \left(1 + \frac{1}{5,1530s} \right) \quad (44)$$

$$G_{C(s)} = 2,79 + \frac{0,541}{s} \quad (45)$$

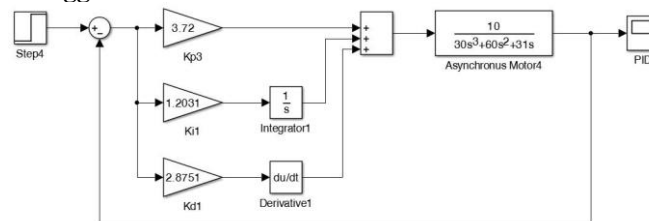
3. Controller PID

$$G_{C(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Tr \cdot s} + Td \cdot s \right) \quad (46)$$

$$G_{C(s)} = 3,72 \left(1 + \frac{1}{3,0918s} + 0,7729s \right) \quad (47)$$

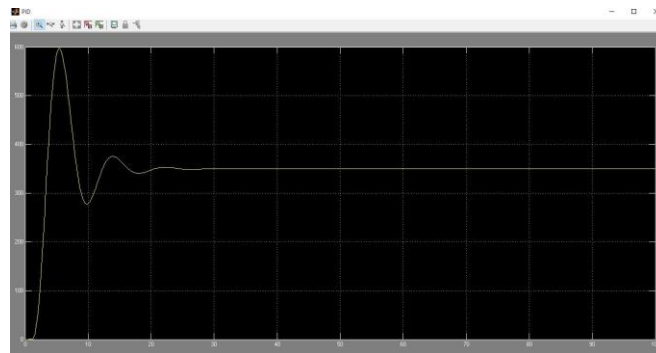
$$G_{C(s)} = 3,72 + \frac{1,2031}{s} + 2,8751s \quad (48)$$

4.2 Simulasi Kontro PID Menggunakan Simulink



Gambar 6. Desain simulasi P, PI, dan PID.

Hasil grafik respon



Gambar 7. Hasil. Respon grafik

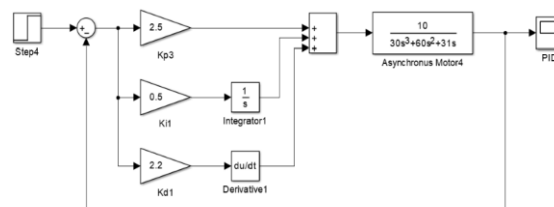
Dari grafik respon di atas, dapat dilihat bahwa sistem stabil pada 28 detik

Metode coba-coba: .

Berdasarkan buku teks OGATA yang telah dipelajari sebelumnya, metode Routh Hurwitz tidak sepenuhnya sempurna, sehingga metode tersebut dijadikan patokan dan kemudian digunakan metode trial and error agar hasil sistem lebih optimal, dengan rincian:

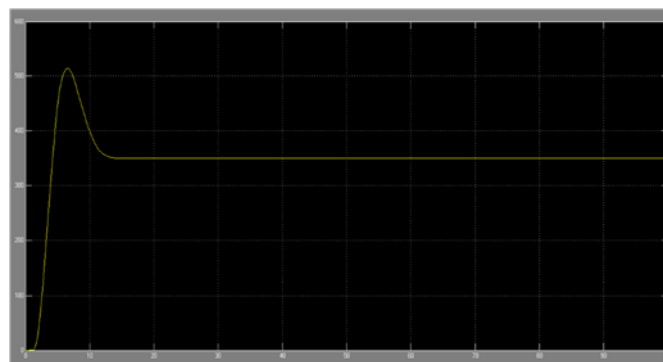
$$K_p = 2,5 ; K_i = 0,5 ; K_d = 2,2$$

Jadi, desain simulasi dalam Matlab Simulink adalah seperti yang ditunjukkan di bawah ini:



Gambar 8. Perubahan nilai pada P, PI, dan PID.

Dari perubahan nilai pada gambar di atas, bentuk output yang dihasilkan adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Hasil grafik respon setelah mengubah nilai P, PI, dan PID.

Setelah menggunakan Metode Trial and Error, ditemukan bahwa sistem menurunkan overshoot menjadi 520, osilasi menurun dan sistem stabil pada detik ke 14.5.

4.3 LQR Controller

With LQR controller with the same parameters

%initial scripts

%Parameter

r = 3;

L = 3;

b = 0.1;

```

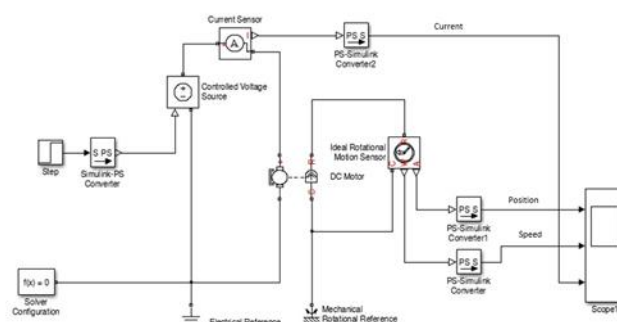
K = 0.1;
J = 0.1;
%State Space
A = [0 1 0 ; 0 -b/J K/J ; 0 -K/L -r/L];
B = [0;0;1/L];
C = [1 0 0];
D = 0;
E %LQR
Q = [1000 0 0 ; 0 10 0 ; 0 0 0];
R = 0.01;
Klqr =lqr (A,B,Q,R);
%Nbar to get rid of errors in the steady
state
N = [A B ; C D];
Nxu = inv(N)*[0;0;0;1];
Nx = Nxu(1:3,1);
Nu = Nxu (4,1);
Nbar = Nu+Klqr*Nx;
    
```

Nilai-nilai parameter yang akan digunakan akan disimpan di ruang kerja

Name	Value	Min	Max
A	[0,1,0;0,-1,1;0,-0.0333,...	-1	1
B	[0;0;0.3333]	0	0.3333
C	[1,0,0]	0	1
D	0	0	0
J	0.1000	0.1000	0.1000
K	0.1000	0.1000	0.1000
Klqr	[316.2278,113.3211,23...	23.2474	316.22...
L	3	3	3
N	<4x4 double>	-1	1
Nbar	316.2278	316.22...	316.22...
Nu	0	0	0
Nx	[1;0;0]	0	1
Nxu	[1;0;0;0]	0	1
Q	[1000,0,0;0,10,0;0,0,0]	0	1000
R	0.0100	0.0100	0.0100
b	0.1000	0.1000	0.1000
r	3	3	3
tout	<58x1 double>	0	10

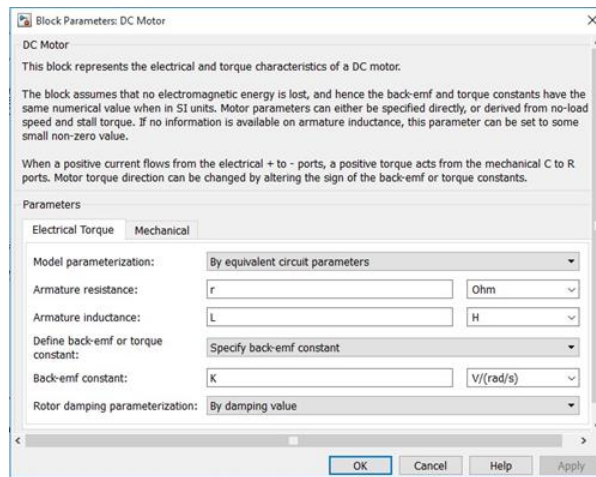
Gambar 10. Hasil parameter.

Pemodelan Motor DC menggunakan SIMULINK



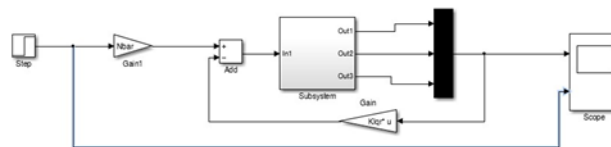
Gambar 11, Desain sirkuit motor DC

Ubah nilai parameter motor DC sesuai dengan perhitungan



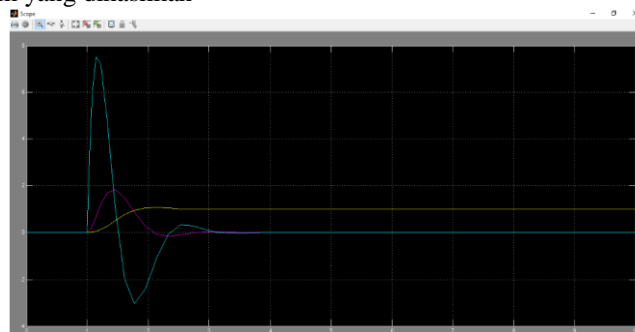
Gambar 12. Perubahan parameter.

Buat sub-sistem dari model. Tambahkan penguatan yang mengandung nilai Nbar dan Klqr



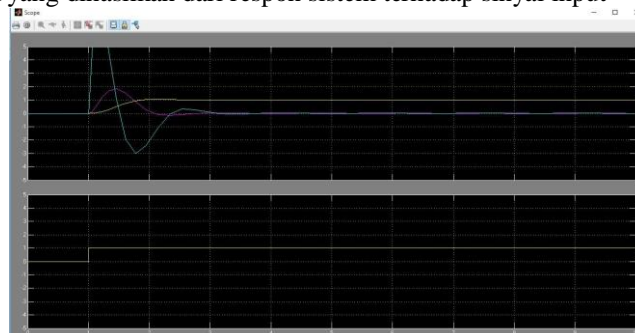
Gambar 13. Sub-sistem dari model

Hasil grafik respons sistem yang dihasilkan



Gambar 14. Hasil grafik respons sistem.

Perbandingan hasil grafik yang dihasilkan dari respon sistem terhadap sinyal input



Gambar 15. Hasil komparasi.

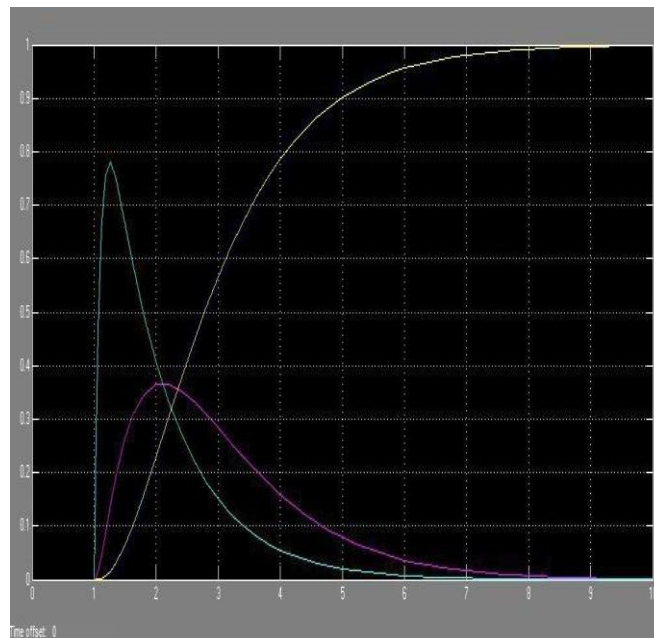
From the graph, it can be seen that the system has responded quite quickly and can reach a stable state in less than 2 seconds.

Variation of the value of the Q . Matrix

```

%Parameter
r = 3;
L = 3;
b = 0.1;
K = 0.1;
J = 0.1;
%State Space
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 10];
R = 0.01;
Klqr =lqr (A,B,Q,R);
%Nbar to eliminate errors at steady state
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;
    
```

The results of the resulting system response graph



Gambar 16. Hasil grafik variasi nilai matriks Q, matrix

Grafik respons yang dihasilkan dari respons sistem lebih lambat daripada skrip awal. script varies the value of matrix R

```

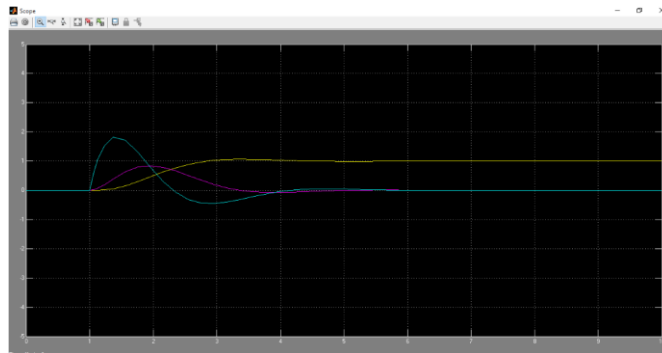
%Parameter
r = 3;
L = 3;
b = 0.1;
K = 0.1;
J = 0.1;
    
```

```
%State Space
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 10];
R = 1;
Klqr =lqr (A,B,Q,R);

% Nbar to eliminate errors at steady state
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;
```

hasil grafis dari variasi nilai matriks R.



Gambar 17. Hasil grafik variasi pada nilai R. Matriks..

dari grafik yang terlihat, dapat dipahami bahwa respon sistem tidak secepat respon sistem ketika menggunakan nilai $r = 0.01$

5. Kesimpulan

Dari simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa, diperoleh motor DC yang lebih stabil dan responsif dari pada sebelum dilakukan pengendalian dengan metode PID dan Algoritma LQR. PID yang digunakan pada sistem respon motor DC adalah dengan $K_p = 2,5$ $K_i = 0,5$ dan $K_d = 2,2$ Sehingga diperoleh sistem yang lebih optimal dari sebelumnya. Respon sistem terbaik diperoleh ketika menggunakan nilai matriks $Q = [1000 \ 0 \ 0; 0 \ 10 \ 0; 0 \ 0 \ 0]$ dan nilai $R = 0,01$.

6. Daftar Pustaka

- Ali Muhammad. (2004). Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol Pid. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
- Nugraha, Anggara Trisna, et al. "Battery Charger Design in a Renewable Energy Portable Power Plant Based on Arduino Uno R3." Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Biomedical Engineering, and Health Informatics. Springer, Singapore, 2022.
- Felix Pasila, Thiang, O. F. (2000). Sistem kendali hybrid pid - logika fuzzy pada pengaturan kecepatan motor dc. Teknik Elektro Universitas Kristen Petra Surabaya, 23– 24.
- Nugraha, Anggara Trisna, et al. "The Auxiliary Engine Lubricating Oil Pressure Monitoring System Based on Modbus Communication." Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Biomedical Engineering, and Health Informatics. Springer, Singapore, 2022.

- P. Escarate, J. C. Aguero, S. Zuniga, M. Castro, and J. Garces, "Linear quadratic regulator for laser beam shaping," *Journal of Optics and Lasers in Engineering*, 2017, Vol. 94, pp. 90-96.
- Zakariz, Naufal Praska, Anggara Trisna Nugraha, and Khong Det Phasinam. "The Effect of Inlet Notch Variations in Pico-hydro Power Plants with Experimental Methods to Obtain Optimal Turbine Speed." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics* 4.1 (2022): 3541.
- Wikipedia. 2013. "State Space". https://id.wikipedia.org/wiki/State_space.
- Nugraha, Anggara Trisna, Moch Fadhil Ramadhan, and Muhammad Jafar Shiddiq. "DISTRIBUTED PANEL BASED FIRE ALARM DESIGN." *JEEMECs (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science)* 5.1 (2022).
- Wikipedia. 2016. "Motor Listrik". https://id.wikipedia.org/wiki/Motor_listrik.
- Nugraha, Anggara Trisna, Dadang Priyambodo, and Sryang Tera Sarena. "Design A Battery Charger with Arduino Uno-Based for A Wind Energy Power Plant." *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)* 7.1 (2022): 23-38.
- Ravi, Alwy Muhammad, Hendro Agus Widodo, and Anggara Trisna Nugraha. "PENGARUH PENGGUNAAN METODE KONTROL PI PADA KONTROL EKSITASI GENERATOR SINKRON." *Seminar MASTER PPNS*. Vol. 6. No. 1. 2021.
- Nugraha, Anggara Trisna, et al. "Brake Current Control System Modeling Using Linear Quadratic Regulator (LQR) and Proportional integral derivative (PID)." *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics* 4.2 (2022): 8593.
- Ferdinandus, Aprildy Randy Andrew, Anggara Trisna Nugraha, and Jamaaluddin Jamaaluddin. "Setting Neuro-Fuzzy PID Control In Plant Nonlinear Active Suspension." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1114. No. 1. IOP Publishing, 2018.
- Asri, Purwadi, et al. "Desain Hybrid Panel Surya dan Generator Set pada Kapal Ikan Pesisir Selatan Jawa." *Jurnal Innotek Polbeng* 12.1 (2022): 46-53.
- Nugraha, A. T., and T. Agustinah. "Quadcopter path following control design using output feedback with command generator tracker LOS based at square path." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 947. No. 1. IOP Publishing, 2018.
- Nugraha, Anggara Trisna, Reza Fardiyani As' ad, and Vugar Hacimahmud Abdullayev. "Design And Fabrication of Temperature and Humidity Stabilizer on Low Voltage Distribution Panel with PLC-Based Fuzzy Method to Prevent Excessive Temperature and Humidity on The Panel." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics* 4.3 (2022): 170-177.
- Nugraha, Anggara Trisna, and Trihastuti Agustinah. "Quadcopter path following control design using output feedback with command generator tracker based on LOS." *2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*. IEEE, 2017.
- Achmad, Irgi, and Anggara Trisna Nugraha. "Implementation of Voltage Stabilizers on Solar Cell System Using Buck-Boost Converter." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics* 4.3 (2022): 154-160.
- Nugraha, Anggara Trisna, Alwy Muhammad Ravi, and [19] Ivannuri, Fahmi, and Anggara Trisna Nugraha. Mayda Zita Aliem Tiwana. Nugraha, Anggara Trisna, Alwy Muhammad Ravi, and Mayda Zita. "Penggunaan Algoritma "Penggunaan Algoritma Interferensi dan Observasi Untuk Sistem Pelacak Titik Daya Maksimum Pada Sel Surya Menggunakan Konverter DC-DC Photovoltaics." *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi* 1.1 (2021): 8-18.

Ivannuri, Fahmi, and Anggara Trisna Nugraha "Implementation Of Fuzzy Logic On Turbine Ventilators As Renewable Energy." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics* 4.3 (2022): 178-182.