

Penentuan Nilai Gain Untuk Kestabilan Putaran Motor DC Terkendali Jangkar Dengan Metode Routh-Hurwitz

Junarto Lolo Muretoding¹, Rismawaty Arunglabi², Nicolaus Allu³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Paulus

^{2,3}Dosen Pembimbing Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Paulus
Jalan. Perintis Kemerdekaan Km.13, Daya, Tamalanrea, Makassar 90245

muretodingjunarto@gmail.com, rismawaty.arunglabi@ukipaulus.ac.id, nick.allu14@gmail.com

Email korespondensi: muretodingjunarto@gmail.com

Abstrak

Di era industri modern saat ini, motor DC sering digunakan untuk keperluan peralatan industri namun sering terjadi ketidakstabilan kecepatan putar dari motor DC saat diberi beban sehingga menyebabkan kecepatan putar motor menjadi lambat. Metode Routh-Hurwitz digunakan untuk menganalisis dan menentukan kestabilan suatu sistem dengan memperhatikan koefisien dari karakteristik persamaan tanpa perlu menghitung akar-akar secara langsung. Dari analisis kestabilan sistem dengan metode Routh-Hurwitz, diperoleh penguatan (gain) $K > -250$ untuk sistem yang stabil. Hasil analisis simulasi Matlab menunjukkan bahwa besarnya nilai gain K yang diberikan pada motor DC dapat mempengaruhi waktu sistem untuk mencapai kestabilan (steady state) menjadi lebih cepat, namun dengan batasan nilai gain K yang optimal ≤ 350 untuk menjaga stabilitas sistem. Pengujian gain K dengan selisih $\Delta K = 10$ di peroleh rata-rata waktu sistem stabil $\Delta t = 0,3$ dan rata-rata tanggapan sistem $\Delta c(t) = 2,6$. Selain itu hasil pengujian juga menunjukkan bahwa pada saat gain $K = 360$, terjadi overshoot yang mengindikasikan bahwa nilai gain K yang di berikan melebihi batas sehingga menyebabkan terjadinya overshoot.

Kata kunci: Motor DC terkendali jangkar, Kriteria Routh-Hurwitz, vickers, fungsi alih.

Abstract

In today's modern industrial era, DC motors are often used for industrial equipment, but what often happens is instability of the rotational speed of the DC motor when a load is applied, causing the motor's rotational speed to become slow. The Routh-Hurwitz method can be used to analyze system stability and determine the stability of a system by paying attention to the coefficients of the characteristic equations without the need to calculate the roots directly. From the system stability analysis using the Routh-Hurwitz method, gain $K > -250$ is obtained for a stable system. The results of the Matlab simulation analysis show that the large K gain value given to the DC motor can influence the system's time to reach stability (steady state) to be faster, but with an optimal K gain value of ≤ 350 to maintain system stability. Testing gain K with a difference of $\Delta K = 10$ obtained an average stable system time of $\Delta t = 0,3$ and an average system response of $\Delta c(t) = 2,6$. Apart from that, the test results show that when the gain $K = 360$, an overshoot occurs, which indicates that a gain K value that exceeds the limit can cause overshoot.

Keywords: Armature controlled, Routh-Hurwitz Criterion, transfer function.

1. Pendahuluan

Di era industri modern, teknologi memegang peran penting dalam meningkatkan efisien dan produktivitas. Salah satu teknologi yang terus berkembang dan berperan penting dalam berbagai aplikasi industri adalah motor DC (Direct Current) [1]. Motor DC merupakan alat yang sering digunakan di berbagai industri, seperti manufaktur, otomasi, transportasi, dan masih banyak lagi. Salah satu masalah yang sering terjadi pada motor DC adalah ketidakstabilan kecepatan putar, terutama saat diberi beban, yang dapat mengganggu pengoperasian normal dan menyebabkan penurunan produktivitas. Oleh karena itu, analisis kestabilan kecepatan putar motor DC menjadi penting dalam konteks penggunaan dalam berbagai aplikasi industri. Salah

satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan kecepatan motor DC adalah metode Routh-Hurwitz.

Terdapat beberapa penelitian yang telah mengkaji tentang solusi untuk menemukan kestabilan kecepatan putar motor DC seperti pada penelitian yang mengkaji mengenai analisis kestabilan kecepatan putar dari motor DC terkendali jangkar menggunakan metode Root Locus. Penggunaan metode Root Locus dalam penelitian tersebut karena mampu menentukan kestabilan suatu sistem atau *plant*. Hasil dari penelitian tersebut berupa fungsi alih dari kecepatan putar motor DC terkendali jangkar dengan analisis matematik, di mana pole 1 sebesar 10 (P_1), pole 2 sebesar -2 (P_2), sedangkan titik potong asimtot dengan sumbu nyata $\tau_a = -6$ dan titik-titik

(Root Locus meninggalkan sumbu nyata) sebesar $\tau_b = -6$. Hasil dari pengujian menggunakan matlab menunjukkan bahwa hasilnya sama seperti perhitungan dengan analisis matematis, dengan pole 1 sebesar -10 (P_1), pole 2 sebesar -2 (P_2), titik potong asimtot dengan sumbu nyata $\tau_a = -6$ dan titik-titik (Root Locus meninggalkan sumbu nyata) sebesar $\tau_b = -6$. Hal ini disebabkan karena keseluruhan pole-polenya masuk dalam kategori baik secara analitik ataupun melalui program Matlab, yang diindikasikan oleh nilai yang terletak di sisi kiri sumbu imajiner dan dinyatakan sebagai sistem yang stabil. Dalam penelitian sebelumnya juga mengkaji Pengaturan kecepatan motor DC dengan kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) berbasis LabView memanfaatkan perangkat antarmuka komputer untuk pengaturan dan pemantauan kecepatan putar motor. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan arah setpoint dengan tingkat keberhasilan 100%. Dengan penerapan metode PID, putaran motor DC menjadi lebih stabil dan mampu mencapai nilai setpoint. Pengaturan kontrol yang digunakan adalah $K_p = 0,030$, $K_i = 0,003$, dan $K_d = 0$, yang menghasilkan kecepatan motor DC yang stabil sesuai dengan setpoint, serta mampu meredam error pada sistem pengendali PID. Selain itu penelitian lainnya yang juga mengkaji tentang kestabilan kecepatan putar dari motor DC melalui metode Routh. Perangkat yang digunakan dalam analisis tersebut yaitu Matlab. Hasil analisis kestabilan sistem dengan karakteristik fungsi alih sistem jangkar menunjukkan bahwa tidak terjadi *overshoot* yang terjadi, adapun untuk meraih kondisi kestabilan sistem, membutuhkan waktu selama 2,9 detik. Kestabilan hasil desain fungsi alih sistem terbukti terjadi, yang diindikasikan oleh bagian nyata dari akar-akar persamaan karakteristik pada kolom pertama yang memiliki nilai negatif dan berada di posisi kiri sumbu imajiner, yakni senilai -2,26 dan -9,74.

Melihat efektifitas penggunaan metode Routh dalam menemukan kestabilan, maka dalam penelitian ini memanfaatkan metode Routh-Hurwitz untuk memeriksa kestabilan motor DC. Metode Routh-Hurwitz adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan kestabilan suatu sistem dengan memperhatikan koefisien dari persamaan karakteristiknya. Metode Routh-Hurwitz ini digunakan untuk mengetahui jumlah kutub pada loop tertutup yang terletak pada daerah tidak stabil tanpa menyelesaikan persamaan karakteristik sistem. Dengan demikian, kriteria ini dapat menentukan stabil tidaknya suatu sistem tetapi tidak dapat menentukan letak akar-akarnya. Selain itu metode ini juga tidak dapat menjelaskan bagaimana menstabilkan sistem yang tidak stabil, namun dapat digunakan untuk menentukan batas penguatan suatu sistem agar stabil [5-7].

Dengan adanya metode Routh-Hurwitz dalam pemeriksaan kestabilan sistem berupa distraksi yang akan terjadi baik dari faktor internal maupun eksternal, dalam berat materi yang melebihi kapasitas. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk (1) memodelkan motor DC terkendali jangkar menjadi fungsi alih sistem serta (2) melakukan pengujian dan analisis fungsi alih dengan gain K untuk mendapatkan sistem stabil lebih cepat dari sebenarnya dengan metode Routh-Hurwitz menggunakan Matlab. Pengujian gain K dalam penelitian ini sebagai upaya penulis untuk melengkapi gap pada penelitian sebelumnya yang belum menyertakan gain K dalam mendapatkan kestabilan sistem.

2. Metode

Metode penelitian ini berbasis pada perancangan yang bertujuan untuk melakukan simulasi dengan Matlab disertai analisa. Perancangan ini didasarkan pada fungsi alih loop tertutup dan perancangan gain K yang berlandaskan pada metode kriteria Routh-Hurwitz.

Terdapat beberapa prosedur yang dilakukan dalam proses perancangan dan analisis model. Beberapa prosedur adalah sebagai berikut.

1. Studi literatur
2. Pengumpulan data
3. Validasi model matematis motor DC terkendali jangkar
4. Desain gain K dengan didasarkan pada metode Routh-Hurwitz, fungsi alih loop tertutup tanpa gain K dan fungsi alih loop tertutup dengan nilai gain K
5. Hasil desain fungsi alih loop tertutup tanpa gain K dan fungsi alih loop tertutup dengan gain K
6. Simulasi hasil desain tanpa gain K dan menggunakan gain K
7. Analisa indentifikasi sistem

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Motor Arus Searah

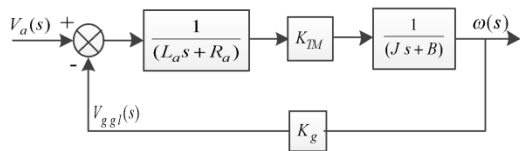
Motor DC arus searah yang digunakan adalah motor arus searah terkendali jangkar. Model motor DC hasil pemodelan di penelitian ini didasarkan pada model fisik motor DC terkendali jangkar berbasis metode Routh-Hurwitz yang berbasis pada penelitian sebelumnya[8]. Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam proses perancangan motor DC ini, adapun parameter tersebut juga didasarkan pada penelitian sebelumnya [8] yang tercantum dalam tabel 1.

Tabel 1. Parameter data motor DC Terkendali jangkar

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1.	Tegangan Jangkar	Va	220	Volt

2.	Tahanan Jangkar	Ra	1	Ohm
3.	Induktansi jangkar	La	0,5	H
4.	Konstanta gesekan/friction	B	0,1	Nmsec ² /rad
5.	Momen Inersia	J	0,01	Kg.m ²
6.	Konstanta Torsi Motor	K _{TM}	0,01	N.m/A
7.	Konstanta GGL lawan	K _g	0,04	V/rad/s

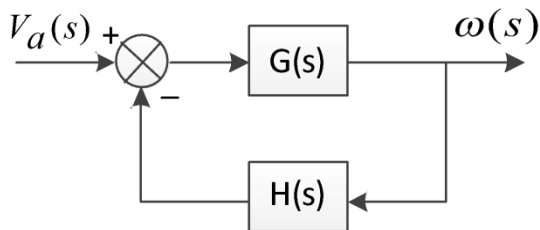
Parameter yang tercantum dalam tabel 1 berfungsi untuk menentukan fungsi alih dari suatu sistem berdasarkan *plant* yang akan dirancang. Hasil desain perancangan diagram blok disajikan pada gambar 1, yang berdasarkan pada transformasi laplace.



Gambar 1. Blok diagram model motor DC terkendali jangkar

3.2 Perancangan Fungsi Alih

Fungsi alih persamaan differensial linear invarian waktu didefinisikan sebagai komparatif antara transformasi laplace keluaran yang berperan sebagai fungsi respon terhadap transformasi masukan yang berperan sebagai fungsi penentu. Pada tahap ini penulis akan melakukan simplikasi model rancangan yang tercantum dalam gambar 1. Hasil dari simplikasi blok diagram tersebut tercantum dalam gambar 2.



Gambar 2. Simplikasi blok diagram model motor DC terkendali jangkar

Berdasarkan blok diagram pada gambar 2 diatas, maka diperoleh fungsi alih loop tertutup seperti berikut

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$$

misalkan: $G(s) = \frac{K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B)}$

$$H(s) = K_g$$

$$\begin{aligned} \frac{\omega(s)}{V_a(s)} &= \frac{\frac{K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B)}}{1 + \frac{K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B)} K_g} \\ &= \frac{\frac{K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B)}}{\frac{(L_a s + R_a)(J s + B) + K_{TM} K_g}{(L_a s + R_a)(J s + B)}} \\ &= \frac{K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B) + K_{TM} K_g} \end{aligned}$$

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_{TM}}{L_a J s^2 + (L_a B + R_a J) s + (R_a B + K_{TM} K_g)} \quad (1)$$

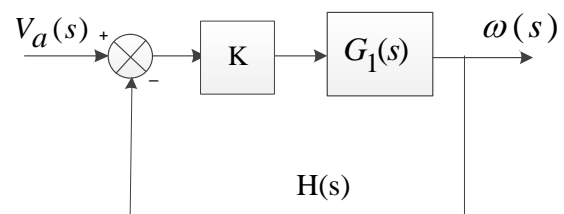
Dengan memasukkan parameter yang tercantum dalam tabel 1 pada persamaan 1 sebagai fungsi alih loop tertutup, penulis mendapatkan model motor DC sebagai berikut

$$\begin{aligned} \frac{\omega(s)}{V_a(s)} &= \frac{K_{TM}}{L_a J s^2 + (L_a B + R_a J) s + (R_a B + K_{TM} K_g)} \\ &= \frac{0,01}{0,5(0,01)s^2 + ((0,5)(0,1) + 1(0,01))s + (1(0,1) + 0,01(0,04))} \\ &= \frac{0,01}{0,005s^2 + 0,06s + 0,1} \end{aligned} \quad (2)$$

Persamaan 2 juga merepresentasikan fungsi alih loop tertutup tanpa gain K.

3.3 Menentukan Gain pada Sistem Kendali untuk Kestabilan

Model blok dia gram fungsi alih loop tertutup dengan gain K, tertera pada gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Blok diagram fungsi alih loop tertutup dengan gain K

Berdasarkan model blok diagram fungsi loop tertutup dengan gain K, maka dapat dirumuskan rancangan fungsi alih dengan gain K berikut ini.

misalkan: $G(s) = K \cdot G_1(s) = \frac{K \cdot K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B)}$

$$H(s) = K_g$$

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K \cdot \frac{K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B)}}{1 + K \cdot \frac{K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B)} K_g}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{K \cdot K_{TM}}{\frac{(L_a s + R_a)(Js + B)}{(L_a s + R_a)(Js + B) + K \cdot K_{TM} K_g}} \\
 &= \frac{K \cdot K_{TM}}{(L_a s + R_a)(Js + B) + K \cdot K_{TM} K_g} \\
 \frac{\omega(s)}{V_a(s)} &= \frac{K \cdot K_{TM}}{L_a J s^2 + (L_a B + R_a J) s + (R_a B + K \cdot K_{TM} K_g)} \\
 &= \frac{0,01K}{0,005s^2 + 0,06s + (0,1 + 0,0004K)} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Dari persamaan fungsi alih loop tertutup sistem didapat persamaan karakteristik sebagai berikut:

$$0,005s^2 + 0,06s + (0,1 + 0,0004K) = 0$$

Persamaan karakteristik di atas dapat disusun untuk menentukan gain dengan metode Routh-Hurwitz sebagai berikut:

$$\begin{array}{rcl}
 s^2 & 0,005 & (0,1 + 0,0004K) \\
 s^1 & 0,06 & 0 \\
 s^0 & (0,1 + 0,0004K) &
 \end{array}$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan dari maktris, maka diperoleh nilai K,

$$(0,1 + 0,0004K) > 0$$

$$0,0004K > -0,1$$

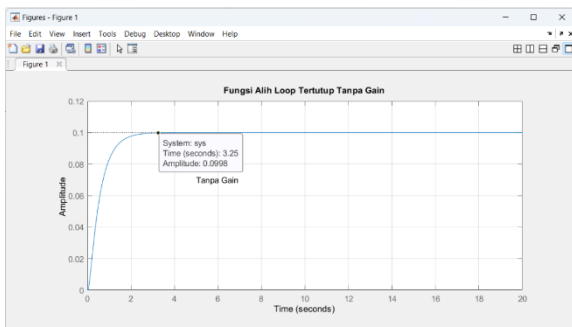
$$K > \frac{-0,1}{0,0004}$$

$$K > -250$$

Sehingga didapatkan nilai gain K: $K > -250$

3.4 Fungsi Alih Loop Tertutup tanpa Gain

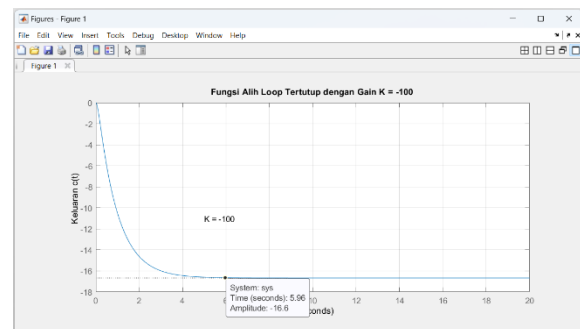
Berdasarkan hasil analisis simulasi kestabilan putaran motor DC dengan menggunakan matlab, maka diperoleh waktu untuk mencapai sistem stabil (steady state) yaitu 3,25 detik dengan tanggapan sistem $c(t) = 0,0998$. Grafik dari hasil simulasi tersebut terdapat pada gambar 4.



Gambar 4. Gambar grafik fungsi alih loop tertutup tanpa gain

3.5 Fungsi Alih Loop Tertutup dengan Gain K = -100

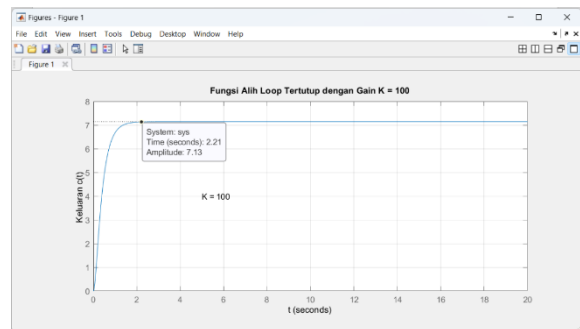
Berdasarkan simulasi fungsi alih loop tertutup dengan gain $K = -100$, didapatkan hasil program berupa grafik fungsi alih loop tertutup untuk gain $K = -100$ dari kecepatan putar motor DC terkendali jangkar yang tertera pada gambar 5. Berdasarkan hasil dari gambar grafik diperoleh waktu untuk mencapai sistem stabil yaitu 5,96 detik dengan tanggapan sistem $c(t) = -16,6$.



Gambar 5. Grafik fungsi alih loop tertutup untuk gain K = -100

3.6 Fungsi Alih Loop Tertutup dengan Gain K = 100

Berikutnya yaitu simulasi fungsi alih loop tertutup dengan gain $K = 100$, diperoleh hasil program berupa grafik fungsi alih loop tertutup untuk gain $K = 100$ dari kecepatan putar motor DC terkendali jangkar yang tertera pada gambar 6.



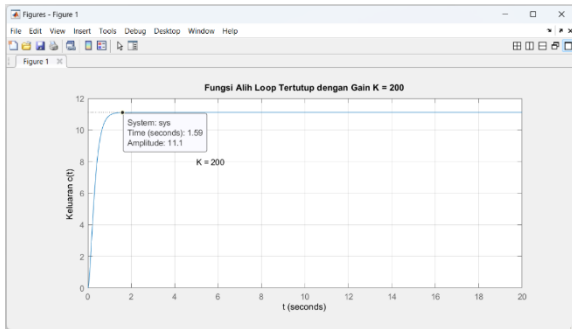
Gambar 6. Grafik fungsi alih loop tertutup untuk gain K = 100

Berdasarkan gambar 6 diperoleh waktu untuk mencapai kestabilan sistem 2,21 detik dengan tanggapan sistem $c(t) = 7,13$.

3.7 Fungsi Alih Loop Tertutup dengan gain K = 200

Berikutnya yaitu simulasi fungsi alih loop tertutup dengan gain $K = 200$. Berdasarkan hasil simulasi tersebut diperoleh hasil program berupa grafik fungsi alih loop tertutup untuk gain $K = 200$ dari kecepatan

putar motor DC terkendali jangkar yang tertera pada gambar 7. Berdasarkan hasil dari gambar grafik

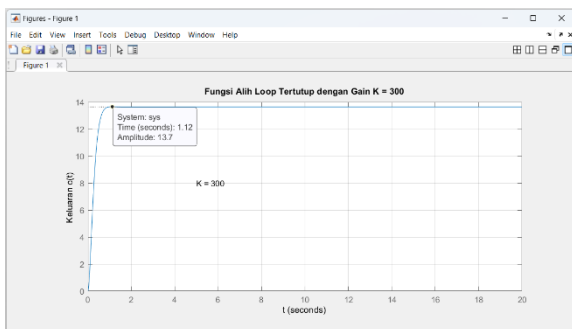


diperoleh waktu untuk mencapai kestabilan sistem yaitu 1,59 detik dengan tanggapan sistem $c(t) = 11,1$.

Gambar 7. Grafik fungsi alih loop tertutup untuk gain $K = 200$

3.8 Fungsi Alih Loop Tertutup dengan Gain $K = 300$

Terakhir yakni simulasi fungsi alih loop tertutup dengan gain $K = 300$. Berdasarkan hasil simulasi tersebut didapatkan hasil program berupa grafik fungsi alih loop tertutup untuk gain $K = 300$ dari kecepatan putar motor DC terkendali jangkar yang disajikan pada gambar 8. Berdasarkan gambar 8 diperoleh waktu untuk mencapai sistem stabil (*steady state*) 1,12 detik dengan tanggapan sistem $c(t) = 13,7$



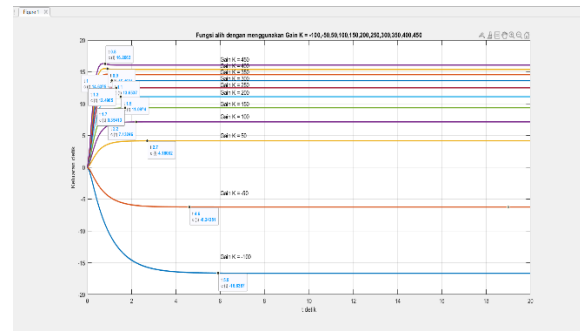
Gambar 8. Grafik fungsi alih loop tertutup untuk gain $K = 300$

Dari hasil analisis dari gambar grafik yang tanpa gain K dan dengan gain K , maka dapat dibuatkan tabel sebagai berikut:

No	Gain ($K > -250$)	Waktu Sistem stabil t (second)	Tanggapan sistem $c(t)$
1	Tanpa Gain K	3,25	0,0998
2	-100	5,96	-16,6
3	100	2,21	7,13
4	200	1,59	11,1
5	300	1,12	13,7

Tabel 2. Hasil simulasi MATLAB

3.9 Pengujian dengan Nilai gain $K -100$ sampai 450 dengan selisih nilai gain $\Delta K = 50$



Gambar 10. Grafik hasil pengujian dengan nilai gain $\Delta K = 50$

Berdasarkan analisa dari gambar 10 menunjukkan bahwa semakin besar nilai gain K yang di berikan, maka waktu dibutuhkan sistem untuk stabil (*steady state*) semakin cepat dengan batasan nilai gain $K \leq 350$. Selain itu, dari gambar 10 juga terlihat bahwa mulai terjadi *overshoot* pada saat nilai gain $K = 360$ yang diberikan pada motor DC, yang mempengaruhi pada sistem dan menyebabkan terjadinya *overshoot*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka hasil perancangan model disimplifikasi dan dialihkan menjadi fungsi alih loop tertutup berbasis parameter data motor DC. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besarnya nilai gain K yang diberikan pada motor DC dapat mempengaruhi waktu sistem untuk mencapai kestabilan (*steady state*) menjadi lebih cepat, namun dengan batasan nilai K yang optimal ≤ 350 untuk menjaga stabilitas sistem. Pengujian gain K dengan selisih $\Delta K = 10$ di peroleh rata-rata waktu sistem stabil $\Delta t = 0,3$ dan rata-rata tanggapan sistem $\Delta c(t) = 2,6$. Selain itu hasil pengujian menunjukkan bahwa pada saat gain $K = 360$, terjadi overshoot yang mengindikasikan bahwa nilai gain K yang diberikan melebihi batas sehingga menyebabkan terjadinya *overshoot*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat, termasuk Rektor, Dekan, Pimpinan Program Studi Teknik Elektro, Dosen pembimbing, Dosen dan Staff Teknik Elektro, serta keluarga dan teman-teman angkatan yang telah memberikan dukungan sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik.

Daftar Pustaka

[1] Yuski, M. N., Hadi, W., & Saleh, A. (2017). Rancang Bangun Jangkar Motor DC. *Berkala*

- Sainstek*, 5(2), 98.
<https://doi.org/10.19184/bst.v5i2.5700>
- [2] Merlin (2021), Analisis Kestabilan Kecepatan Putar Motor DC dengan Metode Root Locus. Skripsi Teknik Elektro UKIP Makassar.
- [3] Wirawan, A. R. J. (2016). Motor DC Speed Adjustment By Propotional Integral Derivative (PID) Based on LabView. *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, 4(2), 13–24.
<https://doi.org/10.34010/telekontran.v4i2.1886>
- [4] Elisabeth (2022). Uji Kestabilan Kecepatan Putar Motor DC dengan Metode Routh. Skripsi Teknik elektro UKIP Makassar.
- [5] Cahyaningtias, S. (2016). Aplikasi Kriteria Routh-Hurwitz Pada Kestabilan Model Interaksi Padi-Hama. *Wahana*, 66(1), 69–73.
<https://doi.org/10.36456/wahana.v66i1.491>.
- [6] Maulana Ichsan, I., & Rizianiza, I. (2021). Perbandingan Uji Kestabilan Attitude Hexacopter Pada Metode Root Locus dan Routh Hurwitz. *Jurnal METTEK*, 7(2), 57.
<https://doi.org/10.24843/mettek.2021.v07.i02.p01>
- [7] Putra, R. T., -, S.-, & -, S. N. (2016). Kestabilan Model Epidem Seir dengan Matriks Hurwitz. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, 11(2), 74.
<https://doi.org/10.30630/jipr.11.2.76>
- [8] Gustria Emanuela (2019). Desain PID Controller pada Motor DC menggunakan Simulink dengan Metode Ziegler Nichols. Skripsi Teknik Elektro UKIP Makassar
- [9] Gunaidi Abdia Away (2010), *MATLAB Programming*. Penerbit Informatika Bandung
- [10] Heru Dubyo Laksono (2018). Metoda Analisis Kestabilan Sistem Kendali dengan Matlab. Penerbit Teknosain Yogyakarta.
- [11] Harifuddin (2008). Pemodelan dan Pengendalian Motor DC Terkendali Jangkar. *Jurnal MEDIA ELEKTRIK*, Volume 3 (Nomor 1, Juni).
- [12] Nicolaus Allu (2018), Sistem Kendali (Teori dan Contoh Soal Dilengkapi dengan Penyelesaian Menggunakan Matlab), Penerbit Deepublish CV. Budi Utama.
- [13] Wahyu Caesarendra (2016), Panduan Belajar mandiri Matlab, Penerbit PT. Elex Media Komputindo.