

---

## KENDALI MRAC PID PADA KECEPATAN MOTOR DC DENGAN ANALISA *ROBUSTNESS*

### Imroatul Hudati

Program Studi Teknik Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Departemen Teknik Elektro dan Informatika  
Sekolah Vokasi  
Universitas Gadjah Mada  
Email: [imroatul.hudati@ugm.ac.id](mailto:imroatul.hudati@ugm.ac.id)

### Jans Hendry

Program Studi Teknik Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Departemen Teknik Elektro dan Informatika  
Sekolah Vokasi  
Universitas Gadjah Mada  
Email: [jans.hendry@ugm.ac.id](mailto:jans.hendry@ugm.ac.id)

### Sihno Priyanto

Program Studi Teknik Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Departemen Teknik Elektro dan Informatika  
Sekolah Vokasi  
Universitas Gadjah Mada

### ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan pengendalian kecepatan motor DC menggunakan *Proportional Integral Derivative Reference model Adaptive* Kendali (PID MRAC). Pemodelan sistem motor DC sudah banyak diberikan pada penelitian sebelumnya dengan melakukan penurunan terhadap torsi dan tegangan motor. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data motor DC untuk mendapatkan nilai *input* dan *output* sehingga didapatkan model matematika sistem dengan menggunakan metode *Autoregressive with External Input* (ARX). Model matematika yang didapatkan berupa model diskrit yang selanjutnya dibuat menjadi bentuk kontinu. Model matematika tersebut akan diberikan kendali PID MRAC untuk memperbaiki sinyal *error* antara *input* dan *output*. Sinyal *input* pada kendali PID merupakan kesalahan antara *input* dan *output* sistem yang akan dibandingkan dengan *output* yang telah ditala dengan menggunakan parameter *adaptive*. Pemberian kendali PID diharapkan dapat mengecilkan nilai kesalahan yang akan menjadi sinyal masukan pada parameter *adaptive*. Penggunaan MRAC diharapkan agar sistem dapat lebih tahan terhadap perubahan parameter yang terjadi pada sistem. Terdapat dua macam parameter *adaptive* untuk kesalahan positif dan negatif. Sinyal keluaran dari parameter adaptif akan memaksa keluaran sistem untuk mengikuti model referensi yang diberikan. Dari hasil percobaan yang dilakukan, menunjukkan bahwa keluaran sistem dapat mengikuti model referensi yang diberikan dengan *Mean Square Error* (MSE) sebesar 0.005 dan memiliki ketahanan yang baik dengan nilai GM adalah  $\sim$  dan PM adalah positif yang dilihat dari diagram Bode.

**Kata kunci:** motor DC, MRAC, PID, kecepatan motor DC, ARX, MSE

### ABSTRACT

*This paper discusses control system at DC motor speed using PID MRAC (Proportional Integral Derivative Reference model Adaptive Control). The modelling of DC motor system has been presented in many previous research that decreasing the torque and voltage of DC motor. Hence, this research was conducted by obtaining DC motor data to gain the data of the input and output, so that the discrete mathematic system model using ARX (Autoregressive with External Input) method can be resulted. The conversion of discrete to continue system must be done. PID MRAC signal control will be given to the continue mathematic model. PID control was given to rectify the error between input and output systems. The output signal of PID controller will be used as the input at adaptive parameter. PID controller used to minimize the error and will be used to be adaptive parameter input signal. There are two adaptive parameters for negative and positive errors. The output signal from adaptive parameter will force the output system to follow the given model reference. The MSE (Mean Square Error) result is 0.005 and this system has good robustness that is GM and PM are positive from Bode diagram analysis.*

**Keywords:** DC motor, MRAC, PID, speed of DC motor, ARX, MSE

## 1. PENDAHULUAN

Motor DC merupakan perangkat yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dalam dunia industri, motor DC banyak digunakan sebagai penggerak piranti. Beberapa penggunaan motor DC adalah penggerak robot humanoid[1][2], teknologi laparoskop[3], rotor pada UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*)[4], mesin CNC (*Computer Numerical Control*)[5], mesin gripper[6]. Contoh-contoh penggunaan motor DC tersebut menunjukkan jika penelitian terkait motor DC adalah hal yang cukup penting.

Pengendali pada motor DC umumnya adalah posisi sudut dan kecepatan sudut. Pengendalian posisi sudut motor DC akan mengendalikan derajat posisi motor. Pengendalian tersebut terkadang untuk menentukan posisi dari robot atau piranti yang akan digerakkan oleh motor DC. Pada [2], posisi motor DC akan mempengaruhi besar sudut yang dicapai oleh jari-jari pada robot humanoid.

Penelitian tentang pengendalian kecepatan sudut motor DC juga tidak kalah penting digunakan pada dunia industri dan robotik[7]. Kecepatan motor DC akan ditampilkan dalam satuan RPM (*Radian per minute*) atau RPS (*Radian per Second*) misalnya saja pada UAV, digunakan motor DC sebagai penggerak propeller. Kecepatan motor DC tersebut akan mempengaruhi gaya angkat UAV.

Berbagai penelitian tentang pengendalian kecepatan motor DC telah dilakukan antara lain pengendalian motor DC dengan menggunakan PID[8]. Penelitian tersebut menggunakan MOSFET untuk mengatur arah gerak motor DC dengan menggunakan kendali PID. Parameter PID yang digunakan menggunakan metode coba-coba. Peneliti juga tidak melakukan pengujian terhadap gangguan, padahal sistem yang diterapkan pada hardware, akan sangat rentan terhadap gangguan[9][10]. Penelitian[11] dilakukan pengendalian motor DC dengan menggunakan metode MRAPIDC (*Reference model Adaptive Proportional Integral Differential Control*), dimana setiap parameter PID didapatkan dari MIT rule. Pada pengujian dengan menggunakan sinyal sinus, keluaran sistem kurang mencapai nilai referensi yang diharapkan, sehingga nilai MSE yang didapatkan masih cukup besar. MRAC tidak dapat menjamin bahwa sistem tersebut memiliki sifat *robust*. Penelitian [12], dilakukan pengendalian Motor DC dengan menggunakan berbagai metode MRAC. Metode MRAC yang digunakan dengan menerapkan adaptive model. Kesalahan antara *set point* dan keluaran sistem tidak menjamin bahwa sistem dapat mengikuti nilai *set point*. Nilai kesalahan yang didapatkan langsung diberikan pada parameter adaptive tanpa harus mengecilkan nilai kesalahan terlebih dahulu. Hal tersebut dapat mengakibatkan *overshoot* apabila penalaan parameter adaptif yang diberikan tidak sesuai, sehingga terdapat pembatasan sinyal kendali yang

diberikan. Penelitian tentang penggunaan MRAC PID telah dilakukan pada [13]. Pada penelitian tersebut kendali diterapkan untuk mengatur level air yang ketinggiannya sangat mudah berubah.

Pada penelitian ini, penulis akan melakukan pengendalian kecepatan motor DC dengan menggunakan PID MRAC, dimana kecepatan motor DC adalah variabel yang sangat mudah berubah. Gangguan pada kecepatan sudut motor DC juga sangat mudah mempengaruhi sistem. Oleh karena itu penulis melakukan penelitian dengan menggunakan PID MRAC yang nantinya akan dianalisa sifat *robust* hasil pengujian dengan menggunakan diagram Bode[14]. Pemberian kendali PID diharapkan dapat mengecilkan nilai kesalahan yang akan menjadi sinyal masukan pada parameter *adaptive*. Penggunaan MRAC diharapkan agar sistem dapat lebih tahan terhadap perubahan parameter yang terjadi pada sistem.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini.

### 2.1. Studi Literatur

Proses studi literatur dilakukan berupa pengkajian literatur berupa pengkajian hasil penelitian yang telah dilakukan untuk membantu melakukan pembaharuan terhadap penelitian sebelumnya. Tahap ini menitik beratkan pada pengkajian penelitian tentang pengendalian kecepatan motor DC, kendali MRAC, identifikasi sistem dengan menggunakan metode ARX dan diagram Bode.

### 2.2. Pengambilan Data

Data motor DC berupa kecepatan sudut motor DC dengan melakukan pengambilan data melalui MATLAB. Proses ini, rangkaian motor DC yang terhubung dengan Arduino akan dihubungkan langsung dengan MATLAB. Sinyal masukan yang diberikan berupa sinyal PWM. Data tersebut direkam oleh MATLAB berupa data *array* yang berisi waktu dan kecepatan sudut dalam *Radian per Seconds* (RPS).

### 2.3. Pemodelan Sistem

Proses ini adalah tahapan untuk mendapatkan pemodelan moter DC yang akan dikendalikan. Metode ARX digunakan untuk mendapatkan *transfer function*. *Transfer function* yang digunakan adalah sistem orde 2. Tahap selanjutnya adalah perancangan sistem kendali yang terdiri dari tiga Langkah yaitu perancangan model referensi, perancangan sinyal *gain* PID, dan perancangan parameter adaptif. Perancangan model referensi dilakukan dengan memilih fungsi transfer yang stabil. Perancangan parameter adaptif dengan memperhatikan konstanta *damping* yang diharapkan pada sistem.

### 2.4. Simulasi

Tahap ini adalah proses pengujian terhadap sistem kendali yang telah dibuat. Pengujian dilakukan pada *software* MATLAB. Simulasi dikatakan sesuai jika hasil respon sistem yang ditampilkan sesuai dengan model referensi yang diberikan

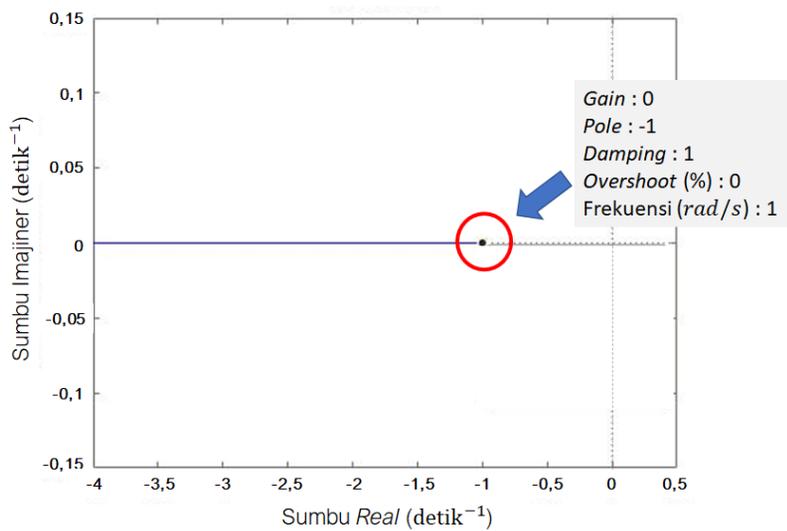
### 2.5. Analisis dan Pembahasan

Proses ini dilakukan Analisa terhadap hasil respon sistem. Analisa yang dilakukan antara lain menguji kestabilan model referensi, membanding dengan penelitian sebelumnya, dan menguji ketahanan sistem dengan menggunakan diagram Bode.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

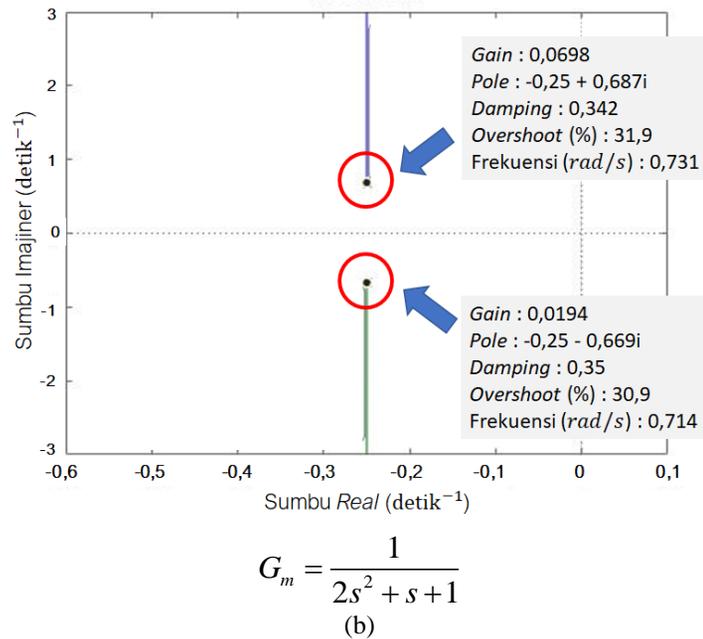
#### 3.1. Pemilihan Model Referensi

Pada pengujian *model reference*, dilakukan pada tiga macam *model reference*. Pemilihan *reference model* dengan menentukan bahwa model yang dipilih adalah stabil. Peneliti melakukan pengujian kestabilan *reference model* dengan menggunakan metode *root locus*, sehingga dapat dilihat letak dari *zero* dan *pole* sistem. Sistem dikatakan stabil apabila *pole* terletak di sebelah kiri daerah S.



$$G_m = \frac{1}{s+1}$$

(a)



**Gambar 1. Root locus model referensi yang dipilih**

Model referensi yang digunakan adalah sistem orde 1 dan sistem orde 2. Pada Gambar 1 dapat dilihat letak pole pada (a) -1, (b)  $-0,25+0,687i$  dan  $-0,25+0,669i$ . Dapat dilihat bahwa semua *reference model* yang digunakan adalah stabil.

### 3.2. Pemodelan Sistem

Identifikasi model motor dilakukan dengan menggunakan metode ARX. Pengambilan data pada motor DC dilakukan untuk mendapatkan data *input* dan data *output*. Dari data tersebut kemudian dilakukan identifikasi sistem dengan menggunakan metode ARX. Persamaan ARX adalah terdiri dari *input* dan *output* diskrit sistem yang nantinya dicari nilai autokorelasinya dari data saat ini terhadap data sebelumnya untuk mencapai orde yang diharapkan[15]. Berikut struktur dari metode ARX

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_n y(t-n_a) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_k - n_b + 1) + e(t) \quad (1)$$

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \quad (2)$$

$$B(q) = b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b+1} \quad (3)$$

dimana  $y(t)$  adalah *output* diskrit,  $u(t)$  adalah *input* diskrit, sedangkan  $n_a$  dan  $n_b$  adalah parameter *pole* dan *zero*,  $n_k$  adalah *delay*,  $e(t)$  adalah model *error*, sehingga didapatkan pemodelan sistem sesuai dengan persamaan (4)

$$\frac{s\theta(s)}{V(s)} = \frac{9,359}{s^2 + 21,36s + 39,21} \quad (4)$$

### 3.3. Perancangan Kendali PID MRAC

Sistem kendali yang digunakan adalah PID MRAC, dimana nilai *error* yang didapatkan antara *input* terhadap *output* akan dikendalikan terlebih dahulu dengan menggunakan PID. Kendali PID digunakan pada *closed loop* dengan memanipulasi nilai *error* antara *output* terhadap *input* yang diharapkan. Pada kendali PID terdiri dari tiga bagian yaitu *proportional*, *integrator* dan *differential*[16]. Sinyal kendali yang dihasilkan merupakan penjumlahan dari masing-masing kendali yang nantinya akan mengatur kecepatan motor DC. Sinyal kendali yang didapatkan dari kendali PID akan dilakukan adaptasi sesuai dengan *reference model* yang diharapkan[17] sesuai yang ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.**2. Persamaan kendali PID sesuai dengan persamaan (7). Respon yang diharapkan

$$\dot{x}_m(t) = A_m x_m(t) + B_m \Omega_r(t) \quad (5)$$

dimana proses sistem

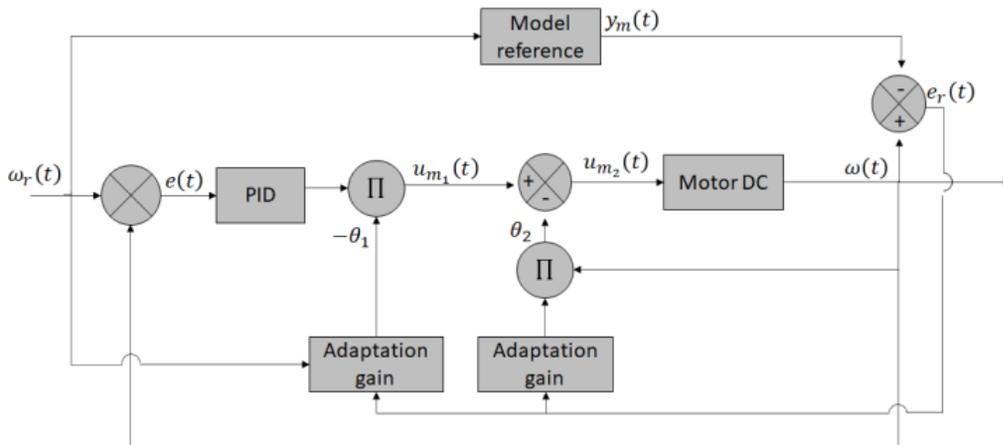
$$\dot{x}(t) = -Ax(t) + B\Omega(t) \quad (6)$$

sehingga didapatkan sinyal kendali PID MRAC adalah sesuai dengan persamaan (1).

$$u = \theta_1 \left( K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \right) - \theta_2 \omega \quad (1)$$

Aturan pada MRAC PID adalah aturan MIT dengan menggunakan persamaan (10). Nilai *error* yang digunakan merupakan sinyal kendali *output* dari kendali PID sesuai dengan persamaan (2).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (2)$$



Gambar 2. Blok diagram PID MRAC

Untuk membuat *error* menjadi kecil, maka diberikan parameter adaptif ( $\theta$ ) sesuai dengan persamaan (3)

$$\dot{e}(t) = -a_m e - (b\theta_2 + a - a_m) \omega + (b\theta_1 - b_m) \omega_r \quad (3)$$

*Error* akan menuju nol jika parameter sama dengan

$$\theta_1 = \frac{b_m}{b} \tag{4}$$

$$\theta_2 = \frac{a_m - a}{b}$$

Parameter adaptife akan mengalami update secara *real time* karena perubahan *error* sesuai dengan persamaan (5)

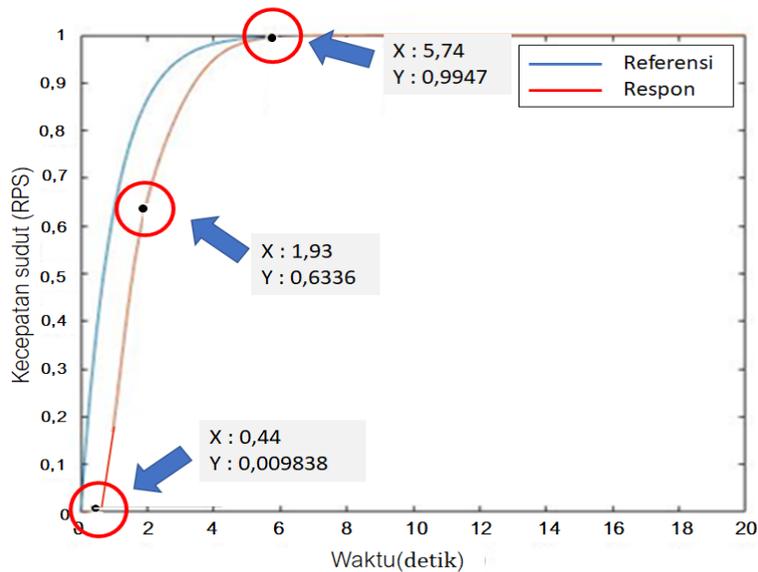
$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \left( \frac{a_m}{p + a_m} \omega_r \right) e \tag{5}$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = -\gamma \left( \frac{a_m}{p + a_m} \omega \right) e$$

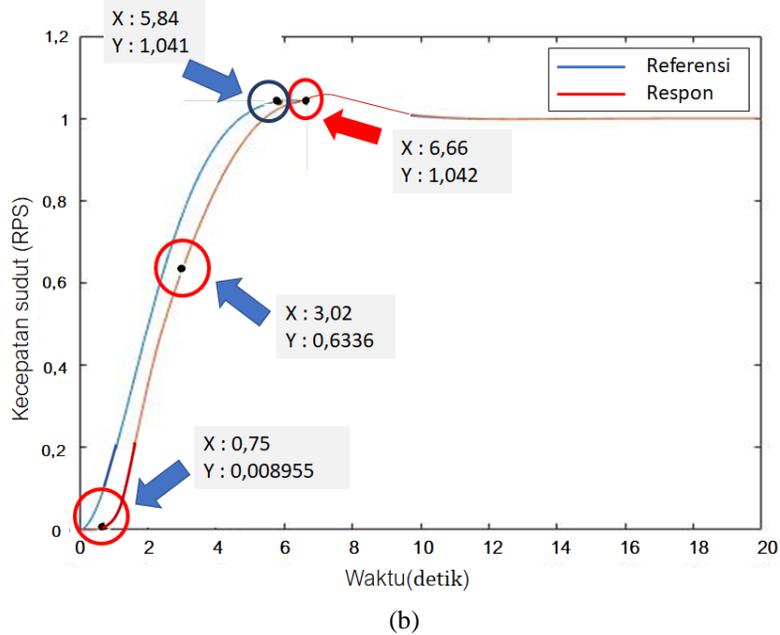
dimana  $p$  adalah differential operator  $\frac{d}{dt}$  yang menunjukkan *output* sistem dengan *transfer function* sistem dan sinyal *input* yang diberikan. Pada *indirect adaptive method*, model sistem akan melalui orde pertama.

### 3.4. Respon perbandingan dengan berbagai model referensi

Digunakan dua model referensi untuk melihat respon sistem. Disini respon sistem akan dibandingkan dan dilihat diantara kedua respon sistem manakah yang paling sesuai dengan harapan.



(a)



**Gambar 3. Hasil respon sistem terhadap perbedaan *reference model* yang digunakan**

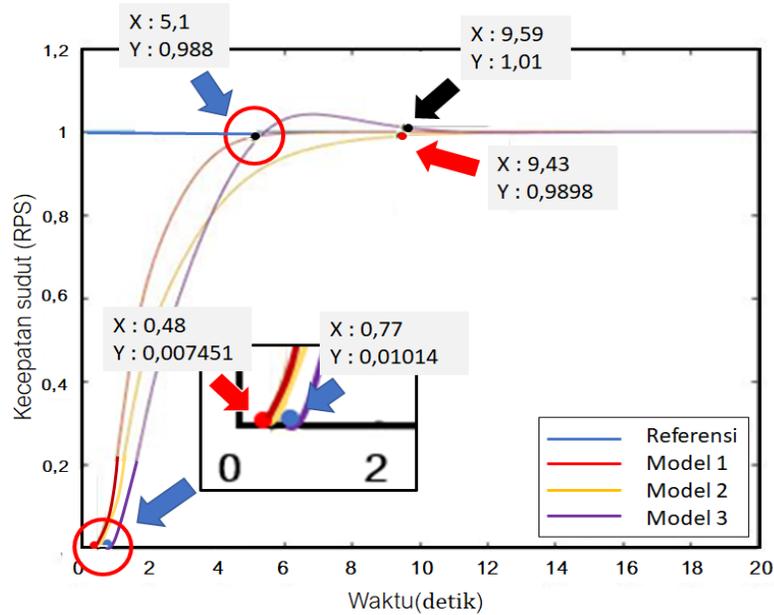
Gambar 3 menampilkan berbagai macam tanggapan sistem terhadap berbagai macam *reference model* yang diberikan. Pada Gambar 3 (a) respon sistem mengalami *delay* selama 0,44 detik dan mencapai waktu *rise time* pada 5,74 detik. **Error! Reference source not found.** (b) respon sistem mengalami *delay* selama 0,75 detik dan mencapai waktu *rise time* pada 6,66 detik. Respon sistem juga mengalami *overshoot* sebesar 0,041 rps atau *overshoot* yang dialami adalah sebesar 4.1%.

**Tabel 1. MSE sistem**

Model referensi	MSE
$G_m = \frac{1}{s+1}$	238,80
$G_m = \frac{1}{2s^2 + s + 1}$	298,88

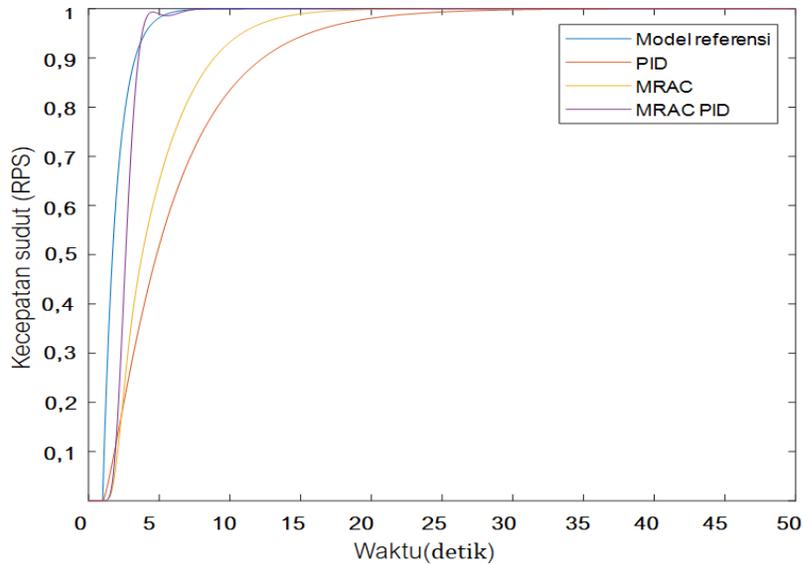
Berdasarkan Tabel 1, didapatkan bahwa nilai kesalahan terkecil adalah pada model referensi dengan orde 1 yaitu sebesar 283,80.

Gambar 4 merupakan perbandingan respon sistem terhadap referensi yang diberikan. Dapat dilihat perbandingan respon sistem dengan berbagai model referensi yang diberikan terhadap sinyal referensi yang diberikan. Dapat dilihat dari Gambar 3 jika respon sistem paling cepat diberikan pada model referensi 1. Model referensi 2 dan 3 memberikan respon sistem yang lebih lambat  $\pm 4$  detik, sehingga pada pengujian berikutnya dilakukan pengujian respon adaptif dengan menggunakan model referensi 1. Didapatkan hasil respon sistem seperti pada Gambar 6.



**Gambar 4. Perbandingan respon sistem terhadap referensi**

Selanjutnya dilakukan perbandingan metode kendali terhadap sistem yaitu dengan menggunakan metode PID, MRAC dan MRAC PID.



**Gambar 5. Perbandingan respon sistem dengan berbagai metode kendali**

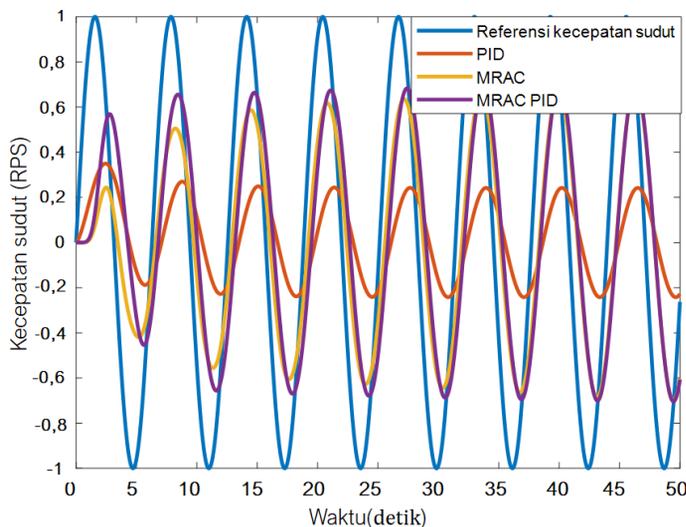
Berdasarkan pada Gambar 5 terlihat jika metode MRAC PID memiliki respon sistem yang lebih cepat dibandingkan dengan metode PID dan MRAC, dikarenakan terdapat penalaan *error* antara *input* dan *output* yang nantinya akan dimasukkan kembali nilai *error* tersebut ke dalam parameter adaptif sehingga *error* yang masuk pada parameter adaptif menjadi lebih kecil

dibandingkan jika *error* yang dihasilkan langsung diberikan pada parameter adaptif dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem[18]. Tabel 2 menampilkan hasil perhitungan MSE

**Tabel 2. MSE sinyal step**

Metode	MSE
PID	0,069
MRAC	0,019
MRAC PID	0,005

Dilakukan pengujian dengan menggunakan sinyal sinus ditunjukkan pada Gambar 6. Pada masing-masing metode terlihat jika keluaran sistem belum bisa mengikuti besar amplitude sinyal referensi. Tetapi dapat dilihat jika pada metode PID MRAC memiliki respon keluaran yang paling mendekati sinyal referensi. Tabel 3 menunjukkan perbandingan MSE dari pengujian dengan menggunakan sinyal masukan sinusoidal.



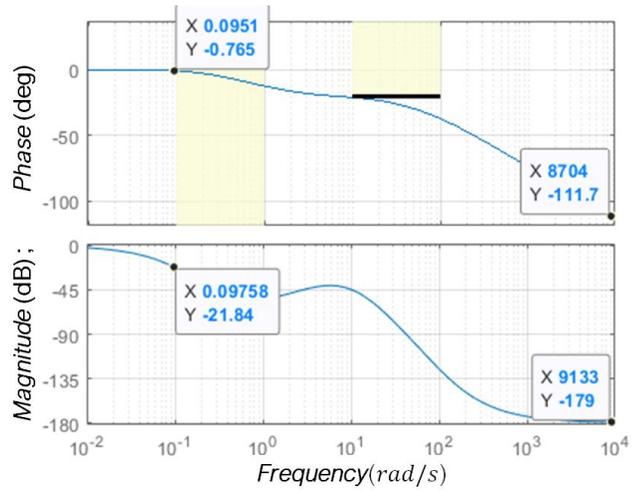
**Gambar 6 Respon sistem sinyal sinusoidal**

**Tabel 3 MSE sinyal sinusoidal**

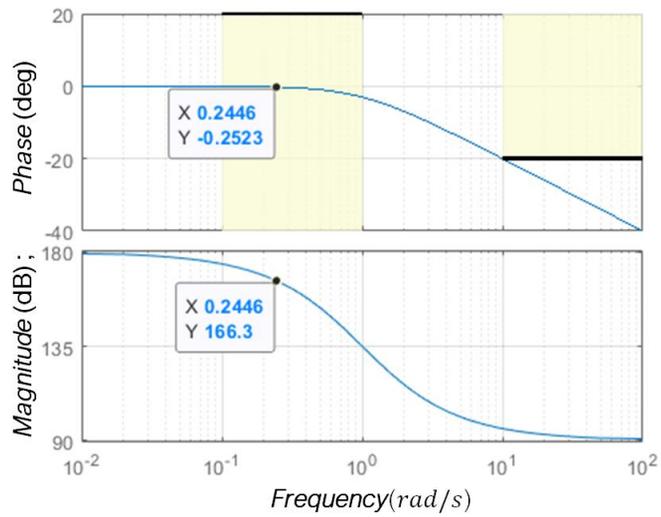
Metode	MSE
PID	0,4008
MRAC	0,2290
MRAC PID	0,1763

### 3.5. Analisa Robustness

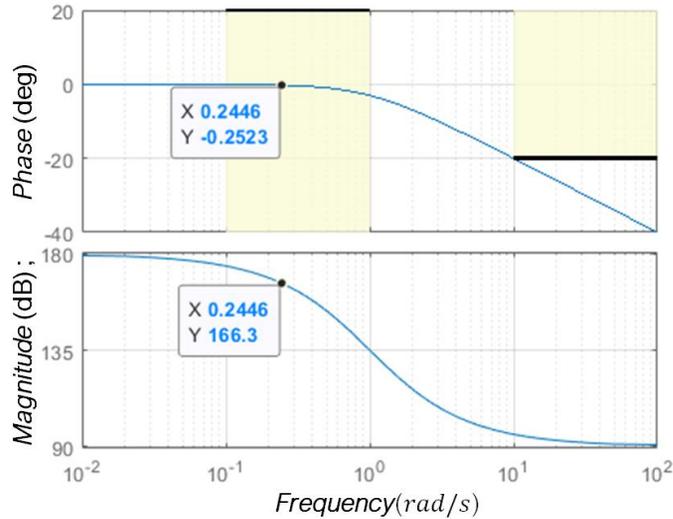
Pengujian *robustness* sistem dengan menganalisa diagram bode setelah diberikan kendaliler. Gambar 7 menampilkan diagram Bode sistem dari berbagai metode kendali yang diberikan pada penelitian ini.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 7. Diagram bode pada metode (a) PID (b) MRAC (c) MRAC PID**

Berdasarkan Gambar 7 dilakukan analisa pada GM dan PM.

Tabel 4 menampilkan GM dan PM dari masing-masing metode yang diberikan.

**Tabel 4 Gain Margin dan Phase Margin sistem loop tertutup**

Metode	GM	PM
PID	-111,7	-21,84
MRAC	~	166,3
MRAC PID	~	166,3

Berdasarkan Tabel 4, terlihat bahwa pada metode PID, nilai GM dan PM adalah negative yang menandakan berapapun nilai penguatan yang diberikan sistem akan beresilasi. Untuk metode MRAC dan MRAC PID, sistem memiliki GM tak hingga dan PM positif yang berarti berapapun nilai penguatan yang diberikan, sistem stabil. Berdasarkan table tersebut, maka metode MRAC dan MRAC PID memiliki *robustness* yang lebih baik dibandingkan metode PID[19].

#### 4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan pengujian yang telah dilakukan dengan pada kecepatan motor DC dengan menggunakan kendali PID MRAC memiliki kinerja yang baik karena mampu mencapai dan mempertahankan kecepatan motor DC sesuai dengan referensi yang diharapkan. Terdapat *delay* keluaran sistem terhadap model referensi yang diberikan sehingga diperlukan *overshoot* untuk mengurangi waktu *delay* tersebut. Dibandingkan dengan metode lain, MRAC PID memiliki MSE yang cukup kecil yaitu 0.005 dengan menggunakan model referensi orde 1 yang stabil atau root locus berada di sebelah kiri daerah S. Berdasarkan pengujian *robustness* dengan menggunakan diagram Bode, metode MRAC dan PID MRAC memiliki ketahanan yang baik dengan GM dan PM adalah tak hingga dan 166.3. Tetapi metode PID MRAC memiliki MSE yang lebih kecil pada pengujian dengan sinyal masukan sinusoidal yaitu 0.1706.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. M. Zakaria, "Implementation of Position Kendali Servo DC Motor with PID Kendaliler to Humanoid Robot Arm," no. October, 2021.
- [2] H. A. H. Al-khazarji, M. A. Abdulsada, and R. B. Abduljabbar, "Robust Approach of Optimal Kendali for DC Motor in Robotic Arm System using Matlab Environment," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 6, pp. 2231–2236, 2020, doi: 10.18517/ijaseit.10.6.8923.
- [3] S. Indira and T. Kannaian, "Analysis of DC motor driven laparoscopic device for oncology," *Int. J. Health Sci. (Qassim)*, vol. 6, no. March, pp. 2289–2301, 2022, doi: 10.53730/ijhs.v6ns2.5332.
- [4] E. M. SARTIKA, M. MULIADY, R. SARJONO, and V. YUVENS, "Pengontrolan Kecepatan Rotor BLDC UAV Berdasarkan Hasil Identifikasi menggunakan Metode Regresi," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 1, p. 114, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i1.114.
- [5] H. Gai, X. Li, F. Jiao, X. Cheng, X. Yang, and G. Zheng, "Application of a new *reference model* adaptive kendali based on pid kendali in cnc machine tools," *Machines*, vol. 9, no. 11, 2021, doi: 10.3390/machines9110274.
- [6] S. Nikhil Shewale and R. Deivanathan, "Modelling and analysis of dc motor actuator for an electric gripper," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 862–874, 2018.
- [7] B. S. Marta and D. M. Sari, "Improvement of DC Motor Speed Kendali for Mobile Robot to Minimize Slip Phenomenon," *Inf. J. Ilm. Bid. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 6, no. 1, pp. 28–34, 2021, doi: 10.25139/inform.v6i1.3406.
- [8] N. Mishra, S. Bajpai, and E. Narayan, "Speed Kendali of DC Motor using PID Kendaliler FED H-Bridge," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 9, no. 10, pp. 274–282, 2020, doi: 10.35940/ijitee.f3967.0891020.
- [9] A. A. Hassan, N. K. Al-Shamaa, and K. K. Abdalla, "Comparative Study for DC Motor Speed Kendali Using PID Kendaliler," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 6, pp. 4181–4192, 2017, doi: 10.21817/ijet/2017/v9i6/170906069.
- [10] Y. ÇAKAR, Y. ORMAN, and S. KİZİR, "Design of a *Reference model* Adaptive Pid Kendaliler for Dc Motor Position Kendali: Compared With Pid and Fuzzy Kendalilers," *Mugla J. Sci. Technol.*, pp. 25–35, 2020, doi: 10.22531/muglajsci.668552.
- [11] At. Ali, E. M. Bashier Tayeb, and O. Busati alzain Mohd, "Adaptive PID Kendaliler for Dc Motor Speed Kendali," *Int. J. Eng. Invent.*, vol. 1, no. 5, pp. 2278–7461, 2012.
- [12] M. H. A. Jalil, R. Hamdan, S. Amy, F. Abd, R. Ngadengon, and H. Abd, "*Reference model* Adaptive Kendaliler without Integral ( MRACWI ) for Position Kendali of a DC Motor," vol. 3, pp. 18–27, 2019.
- [13] T. Elektro, F. Sains, U. I. N. Sultan, and S. Kasim, "Analisa Pengendalian Level Berbasis MRAC-PID pada Tangki Hotwell Kondensor," vol. 5, no. 02, pp. 30–34, 2022.

- [14] P. Sutiyasadi, "An Improved DC Motor Position Kendali Using Differential Evolution Based Structure Specified  $H_{\infty}$  Robust Kendaliler," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform.*, vol. 7, no. 2, p. 347, 2021, doi: 10.26555/jiteki.v7i2.21103.
- [15] N. D. B. K. Ashar, Z. M. Yusoff, N. Ismail, and M. A. Hairuddin, "ARX model identification for the real-time temperature process with Matlab-arduino implementation," *ICIC Express Lett.*, vol. 14, no. 2, pp. 103–111, 2020, doi: 10.24507/icicel.14.02.103.
- [16] K. Ogata and J. W. Brewer, *Modern Kendali Engineering(5th Edition)*. 2010.
- [17] S. Amelia, K. Astrowulan, and E. Iskandar, "Perancangan dan Simulasi MRAC PID Kendali untuk Proses Pengendalian Temperatur pada Continuous Stirred Tank Reactor ( CSTR )," vol. 3, no. 1, pp. 128–133, 2014.
- [18] M. Manimozhi and A. A. Rajathi, "Design of MRAC and modified MRAC for DC motor speed kendali," ... *J. Nonlinear Anal. ...*, vol. 12, no. August, pp. 1863–1871, 2021, [Online]. Available:  
[https://ijnaa.semnan.ac.ir/article\\_5937.html%0Ahttps://ijnaa.semnan.ac.ir/article\\_5937\\_918a60bfd30e13d9a411f24c23b803bc.pdf](https://ijnaa.semnan.ac.ir/article_5937.html%0Ahttps://ijnaa.semnan.ac.ir/article_5937_918a60bfd30e13d9a411f24c23b803bc.pdf)
- [19] Mila Diah Ika Putri, A. Ma'arif, and Riky Dwi Puriyanto, "Pengendali Kecepatan Sudut Motor Dc Menggunakan," vol. 23, no. 1, 2022.