

Sistem Kendali Kecepatan Motor Arus Searah tanpa Sensor Kecepatan dengan *Observer* Metode *R*

Bernadeta Wuri Harini¹, Vincentius Hosea Pniel Muda², Stefanus Derryan Vicky Afrizal³,
Marcellius Irwandi⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma,
Sleman, D.I. Yogyakarta 55282, Indonesia
wuribernard@usd.ac.id

Abstrak

Sebagian besar industri mengendalikan kecepatan suatu motor agar sesuai dengan kecepatan referensi yang dibutuhkan. Salah satu metode pengendalian kecepatan motor adalah pengendalian kecepatan motor tanpa sensor kecepatan. Pada penelitian ini dirancang suatu sistem yang mengendalikan kecepatan motor DC tanpa menggunakan sensor kecepatan yang dipasang pada rotor. Untuk mendapatkan kecepatan motor DC maka kecepatan motor diestimasi dari nilai arus dan tegangan stator yang diukur menggunakan sensor arus dan tegangan. Oleh *observer*, nilai arus dan tegangan stator digunakan untuk menentukan kecepatan motor yang sebenarnya. Pada penelitian ini digunakan *observer* metode *R*. Keluaran *observer* yang berupa kecepatan estimasi akan dibandingkan dengan kecepatan referensi. Pengendali *On-off* akan mengolah perbedaan kecepatan ini untuk mengatur motor agar mempunyai kecepatan yang sama dengan kecepatan yang diinginkan. Pada penelitian ini akan diinvestigasi suatu sistem yang mengendalikan kecepatan motor DC tanpa menggunakan sensor kecepatan dengan *observer* metode *R* apakah bisa mengendalikan motor DC dengan baik. Parameter yang diperlukan untuk pengendalian ini adalah nilai resistans dan GGL balik motor. Sistem kendali terdiri dari motor DC EG-530AD-2F CW, sensor arus dan tegangan tipe INA 219, penggerak motor DC tipe L298N, dan Mikrokontroler Arduino Uno sebagai alat pemroses keseluruhan sistem. Penelitian ini dapat membuktikan bahwa *observer* metode *R* dengan tambahan pengendali mode *On-off* dapat mengendalikan kecepatan motor dengan kinerja yang baik. Tanggapan sistem mempunyai karakteristik SSE sebesar 0,59%, lonjakan sebesar 0,49%, T_r sebesar 1,3 detik dan T_s sebesar 1,9 detik.

Kata kunci: Pengendali, Motor DC, Tanpa sensor kecepatan, Observer metode *R*, Sensor arus dan tegangan

Abstract

Most industries control the speed of a motor to match the required reference speed. One method of controlling motor speed is to control the motor speed without a speed sensor. In this study, a system is designed to control the speed of a DC motor without using a speed sensor installed on the rotor. To obtain the speed of a DC motor, the motor speed is estimated from the stator current and voltage values measured using current and voltage sensors. By the observer, the stator current and voltage values are used to determine the actual motor speed. In this study, the R method observer is used. The observer output in the form of an estimated speed will be compared with the reference speed. The On-off controller will process this speed difference to regulate the motor to have the same speed as the desired speed. In this study, a system that controls the speed of a DC motor without using a speed sensor with the R method observer will be investigated to determine whether it can control a DC motor properly. The parameters required for this control are the resistance value and the motor's back EMF. The control system consists of an EG-530AD-2F CW DC motor, an INA 219 type current and voltage sensor, an L298N type DC motor driver, and an Arduino Uno microcontroller as the overall system processing tool. This study can prove that the R method observer, with the addition of an On-off mode controller, can control motor speed with good performance. The system response has the characteristics of SSE of 0.59%, surge of 0.49%, T_r of 1.3 seconds, and T_s of 1.9 seconds.

Keywords: Controller, Current and voltage sensor, DC Motor, Sensorless, R method observer

I. PENDAHULUAN

Salah satu aktuator yang banyak digunakan dalam industri adalah motor. Secara umum, ada dua macam motor yang digunakan sebagai penggerak. Motor tersebut adalah motor arus searah (DC) dan motor arus bolak-balik (AC). Pada umumnya, kecepatan suatu motor harus dikendalikan agar kecepatan tersebut sesuai dengan yang dibutuhkan dalam suatu sistem. Ada dua metode yang digunakan dalam pengendalian kecepatan motor. Metode konvensional yang digunakan untuk mengendalikan motor adalah metode pengendali yang berbasis pada sensor, di mana keluaran suatu proses (*plant*) diukur dengan sensor kecepatan dan dibandingkan dengan suatu nilai kecepatan yang diinginkan. Metode yang kedua adalah metode pengendali tanpa menggunakan sensor kecepatan. Nilai kecepatan yang dibandingkan dengan nilai kecepatan yang diinginkan adalah kecepatan hasil perhitungan suatu *observer* dengan masukan dari arus dan tegangan stator. Salah satu kekurangan sistem kendali kecepatan motor yang menggunakan sensor kecepatan adalah sensor kecepatan harus dipasang pada posisi tengah rotor. Untuk mengatasi kelemahan ini maka dikembangkan sistem kendali tanpa sensor kecepatan [1].

Observer harus dapat menghitung variabel-variabel yang dikendalikan agar nilai kecepatan yang dihasilkan sesuai dengan nilai kecepatan yang sebenarnya. Dalam berbagai penelitian, beberapa peneliti menggunakan berbagai jenis *observer* untuk menghitung kecepatan motor. Salah satu *observer* yang banyak digunakan adalah *Model Reference Adaptive System* (MRAS) [1]. *Observer* lain yang banyak digunakan adalah *Luenberger* [2], *Extended Kalman Filter* (EKF) [3][4][5], dan *Sliding Mode Observer* (SMO) [6][7]. Dalam perkembangannya, ada beberapa *observer* yang menggabungkan beberapa metode *observer*. Sebagai contoh, *Fuzzy* dikombinasikan dengan SMO [8]. Ada juga peneliti yang mengkombinasikan EKF dengan SMO [4][9].

Perbedaan lain sistem kendali tanpa menggunakan sensor kecepatan adalah pada metode ini dibutuhkan nilai beberapa parameter motor [10][11][12]. Setelah kecepatan motor diestimasi, maka kecepatan estimasi ini akan dibandingkan dengan kecepatan referensi (*Set Point*). Perbedaan kecepatan (*error*) yang diperoleh akan digunakan oleh pengendali untuk mengatur gerakan motor sehingga kecepatan motor sama dengan kecepatan referensi yang diinginkan.

Selama ini, sistem kendali tanpa menggunakan sensor kecepatan lebih banyak digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor arus bolak-balik (AC) [13][14][15][16][17]. Padahal, motor DC juga

banyak diaplikasikan dalam banyak bidang. Sebagai contoh, motor DC digunakan untuk menggerakkan sistem pelacak sinar matahari [18][19], robot [20], dan sepeda listrik [21]. Ada sedikit penelitian yang mengaplikasikan sistem kendali kecepatan motor DC tanpa menggunakan sensor kecepatan [22][23][24][25]. Referensi [5] menggunakan *observer* EKF dan pengendali Logika Kabur Takagi-Sugeno-Kang. Referensi [22] menggunakan *observer* Luenberger orde tereduksi dengan pengendali menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC). Referensi [23] mengaplikasikan *observer* Luenberger dan dikendalikan dengan metode *Sliding Mode Controller* (SMC). Referensi [24] menggunakan pengendali modal optimal untuk mengendalikan kecepatan motor DC. Penelitian-penelitian yang dijelaskan di atas menggunakan perhitungan yang kompleks dan belum diimplementasikan pada motor. Referensi [25] menggunakan komponen riak arus motor untuk mengestimasi kecepatan motor. Pengendali yang digunakan adalah pengendali Proporsional Integral (PI).

Dalam penelitian sebelumnya telah diusulkan *observer* untuk memperkirakan kecepatan motor DC yang sederhana dan mudah diterapkan. *Observer* yang diusulkan dalam penelitian tersebut didasarkan pada persamaan kelistrikan motor DC [26], seperti *observer* yang diusulkan untuk memperkirakan kecepatan PMSM [27]. Dalam penelitian tersebut diusulkan 2 metode *observer*, yaitu metode *L-R* dan metode metode *R*. Dari pengujian diperoleh hasil bahwa *observer* metode *L-R* dapat mengestimasi kecepatan motor lebih baik daripada metode *R*. Pada penelitian ini akan digunakan *observer* metode *R* untuk mengestimasi kecepatan motor DC yang berbeda dari penelitian sebelumnya. Hal ini digunakan untuk membuktikan apakah metode ini baik untuk mengestimasi kecepatan motor untuk motor DC yang berbeda. Selanjutnya, hasil estimasi ini akan dibandingkan dengan *Set Point* dan akan dikendalikan dengan pengendali *On-Off* sehingga membentuk sistem kalang tertutup. Dalam penelitian ini akan diinvestigasi apakah dengan metode *R* yang mempunyai kinerja kurang daripada metode *L-R*, dengan penambahan kontroler akan mendapatkan kinerja yang baik.

II. METODE PENELITIAN

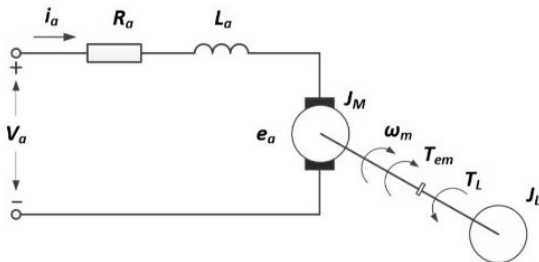
A. *Observer* Metode *R* dan *L-R*

Pada penelitian sebelumnya diusulkan 2 metode *observer* untuk menentukan kecepatan motor DC tanpa menggunakan sensor kecepatan. Metode yang diusulkan tersebut adalah *observer* metode *R* dan *observer* metode *L-R* [26]. Kedua metode ini

memperkirakan kecepatan motor DC menggunakan persamaan kelistrikan motor DC. Sesuai dengan rangkaian ekuivalen motor DC ditunjukkan pada Gambar 1[25], rangkaian listrik pada motor DC dinyatakan sebagai arus yang mengalir pada resistansi dan induktansi belitan jangkar sesuai dengan persamaan 1

$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_a \quad (1)$$

dengan v_a merupakan tegangan suplai jangkar, i_a merupakan arus jangkar, R_a merupakan resistansi jangkar, L_a merupakan induktansi diri pada jangkar yang disebabkan oleh fluks pada jangkar, dan e_a merupakan ggl balik.



Gambar 1. Rangkaian listrik ekuivalen motor arus searah

Dengan menggunakan persamaan 1, nilai ggl balik (e_a) didapat dengan mengukur resistansi dan induktansi pada motor, serta tegangan dan arus pada jangkar seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.

$$e_a = v_a - (R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}) \quad (2)$$

Nilai resistansi dan induktansi motor DC bernilai tetap, yang diukur sebelum motor digunakan sebagai aktuator dalam sistem kendali dan digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Nilai ggl balik sebanding dengan kecepatan sudut rotor dan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$e_a = k_E \omega_m \quad (3)$$

dengan k_E merupakan konstanta ggl-balik dan ω_m merupakan kecepatan motor.

Nilai resistansi (R_a), induktansi (L_a), dan konstanta ggl balik (k_E) adalah nilai-nilai parameter pada motor DC. Cara mengukur serta menghitung nilai-nilai parameter pada motor DC tersebut telah dijabarkan dalam penelitian sebelumnya [26]. Pada metode L - R , *observer* akan menghitung kecepatan motor DC berdasarkan nilai resistansi dan induktansi dengan e_a yang dihitung menggunakan persamaan 2. Sedangkan pada metode R , *observer* akan menghitung kecepatan motor hanya didasarkan pada nilai resistansi motor, sehingga nilai e_a dihitung menggunakan persamaan 4.

$$e_a = v_a - i_a R_a \quad (4)$$

Dengan nilai e_a yang dihitung dengan persamaan 2 atau 4 dan nilai k_E yang telah didapat dari

percobaan maka kecepatan motor DC dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 5.

$$\omega_m = \frac{e_a}{k_E} \quad (5)$$

B. Perancangan Sistem Kendali tanpa Sensor Kecepatan

Pada penelitian ini digunakan sistem kendali tanpa menggunakan sensor kecepatan untuk mengendalikan motor DC tipe EG-530AD-2F CW [28] dengan spesifikasi tegangan input 12 Vdc, arus 73 mA dan kecepatan maksimum 2400 RPM, seperti yang tampak pada Gambar 2.



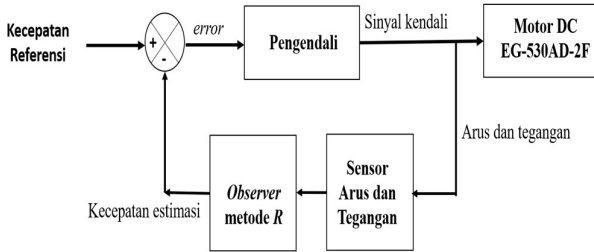
Gambar 2. Motor DC EG-530AD-2F CW

Langkah-langkah pengendalian kecepatan motor DC tanpa sensor kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Mencari nilai-nilai parameter motor [26]. Untuk *observer* metode R dibutuhkan tahanan jangkar (R_a) dan nilai konstanta ggl balik (k_E) sebagai parameter motor
2. Mengimplementasikan *observer* metode R
3. Perbandingan kecepatan estimasi dengan kecepatan motor yang sebenarnya. Apabila terdapat galat yang besar maka perlu dilakukan kalibrasi.
4. Perancangan kontroler
5. Analisis. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil pengukuran kecepatan motor menggunakan *tachometer*

Blok diagram sistem kendali kecepatan motor DC tanpa menggunakan sensor kecepatan ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem terdiri dari motor DC, sensor arus dan tegangan INA 219, *observer*, dan pengendali. Seperti yang dijelaskan di atas, pada sistem kendali ini, nilai kecepatan motor DC diestimasi dari hasil pengukuran arus dan tegangan stator. Oleh karena itu dalam sistem ini tidak menggunakan sensor kecepatan, tetapi menggunakan sensor arus dan tegangan yang kemudian dihitung dalam mikrokontroler menjadi sinyal kecepatan estimasi. Perbedaan antara kecepatan referensi dan kecepatan estimasi yang disebut *error* kemudian diolah oleh pengendali. Keluaran pengendali yang disebut sinyal kendali kemudian digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC. Seluruh perhitungan dilaksanakan

dengan Mikrokontroler Arduino Uno. Motor DC EG-530AD-2F CW mempunyai arus yang kecil yaitu 73 mA, sehingga penggerak motor DC yang digunakan adalah tipe L298N yang mempunyai arus maksimal 2A. Pengendali yang digunakan adalah pengendali dengan mode *On-Off*.



Gambar 3. Blok diagram sistem kendali tanpa sensor kecepatan

Diagram alir (*flowchart*) pengendalian kecepatan motor DC ditunjukkan pada Gambar 4. Diagram alir tersebut meliputi beberapa bagian yaitu

1. Inisialisasi

Langkah pertama pengendalian kecepatan motor DC tanpa sensor kecepatan adalah menentukan parameter motor DC yang diperlukan yaitu nilai tahanan jangkar (R_a) dan nilai konstanta ggl balik (k_E). Di samping itu, pada bagian ini juga diinisialisasi nilai *Set Point* (SP) kecepatan motor yang diinginkan. Nilai SP pada percobaan ini adalah 1400 RPM

2. Perhitungan kecepatan estimasi

Langkah selanjutnya adalah menghitung kecepatan estimasi dengan persamaan berikut [26]

$$\omega_{m_hitung} = \frac{e_a}{k_E} \quad (6)$$

dengan v_a merupakan tegangan catu pada jangkar, i_a merupakan arus pada jangkar, R_a merupakan resistansi pada jangkar, e_a merupakan ggl balik, k_E merupakan konstanta ggl-balik dan ω_{m_hitung} merupakan kecepatan motor yang diestimasi. Nilai e_a dihitung menggunakan persamaan 4. Nilai arus dan tegangan stator dibaca sebanyak 50 kali. Hal ini digunakan untuk mengurangi derau pengukuran. Data-data tersebut kemudian dirata-rata sehingga mendapatkan nilai rata-rata tegangan dan arus. Jika galat kecepatan estimasi besar, maka nilai ω_{m_hitung} kemudian dikalibrasi agar didapat nilai kecepatan estimasi yang sesuai dengan kecepatan motor DC yang sebenarnya.

3. Perhitungan pengendali

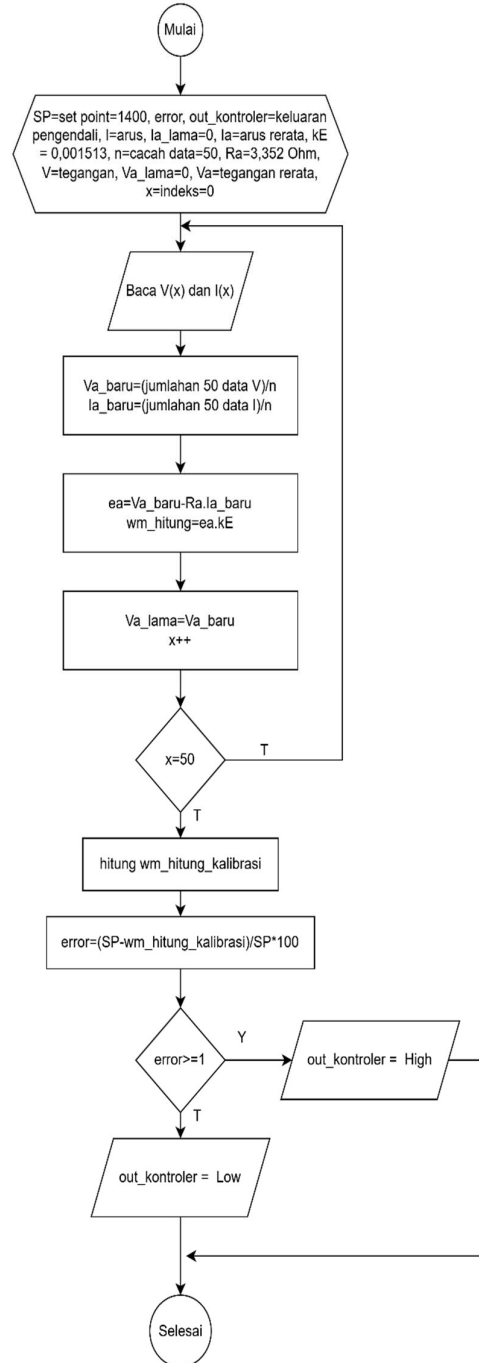
Nilai kecepatan estimasi yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai kecepatan yang diinginkan (kecepatan

referensi/*set point* (SP)) dengan persamaan berikut

$$error = SP - \omega_{m_hitu} \quad (7)$$

Kontroler yang digunakan adalah kontroler *On-off* dengan batas *error* adalah 1. Keluaran kontroler yang digunakan pada penelitian ini mengikuti aturan berikut

$$m(t) = \begin{cases} high & error \geq 1 \\ low & error < 1 \end{cases} \quad (8)$$



Gambar 4. Diagram alir sistem kendali tanpa sensor kecepatan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan langkah-langkah pengendalian yang telah dijelaskan di atas, pada bagian ini akan dijelaskan hasil penelitian meliputi hasil pengukuran parameter motor, hasil kalibrasi kecepatan motor, dan hasil pengendalian kecepatan motor tanpa sensor kecepatan menggunakan metode *On-off*.

A. Pengukuran Parameter Motor

Seperti yang dijelaskan pada bagian metode penelitian, parameter motor yang diperlukan pada *observer* metode *R* adalah besar resistans motor. Nilai resistans motor ini diperoleh dengan mengukur nilai resistans motor menggunakan Ohmmeter pada beberapa posisi rotor. Dari beberapa nilai resistans pada posisi yang berbeda ini kemudian dicari rata-rata resistans motor. Hasil pengukuran resistans motor pada 4 posisi dapat dilihat pada Tabel 1. Dari pengukuran resistans pada empat posisi yang berbeda didapat rata-rata resistans sebesar 3,352 Ω .

Tabel 1. Pengukuran Resistans Motor

No	Posisi	Nilai resistans (Ω)
1	Utara	3,357
2	Timur	3,352
3	Selatan	3,351
4	Barat	3,349
	rata-rata	3,352

Selain resistans, variabel lain yang diperlukan dalam pengendalian kecepatan motor DC tanpa sensor kecepatan adalah konstanta ggl-balik (k_E). Nilai ini diperoleh dengan mengukur kecepatan (ω_m) dengan *tachometer* dan i_a dengan amperemeter pada beberapa nilai tegangan input. Nilai-nilai tersebut diambil pada saat kecepatan motor sudah stabil pada setiap nilai input tegangan (v_a). Selanjutnya dihitung nilai ggl balik (e_a) sesuai dengan persamaan 4. Dari persamaan 5 dapat diperoleh nilai k_E dengan rumus

$$k_E = \frac{e_a}{\omega_m} \quad (9)$$

Hasil pengukuran dan perhitungan untuk mendapatkan nilai k_E dapat dilihat pada Tabel 2. Dari tabel tersebut didapat rerata nilai k_E (k_{E_rerata}) sebesar 0,00183.

Dengan nilai k_{E_rerata} yang telah diperoleh maka dapat dihitung nilai kecepatan estimasi (ω_{m_hitung}) dengan persamaan 2, sehingga diperoleh nilai kecepatan estimasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil perhitungan kecepatan estimasi dibandingkan dengan nilai kecepatan sebenarnya yang diukur dengan menggunakan *tachometer*. Dari

tabel tersebut didapat galat rata-rata sebesar 0,1%. Dengan galat yang kecil ini maka tidak perlu dilakukan kalibrasi.

Tabel 2. Pengukuran Nilai k_E Motor

V_a (V)	ω_m (RPM)	i_a (mA)	e_a (V)	k_E
4,98	2711,1	2,30	4,97229	0,00183
4,98	2712,1	2,26	4,97242	0,00183
4,98	2713,8	2,26	4,97242	0,00183
4,98	2714,4	2,26	4,97242	0,00183
4,98	2715,7	2,25	4,97246	0,00183
4,98	2718,0	2,25	4,97246	0,00183
4,98	2718,1	2,25	4,97246	0,00183
4,98	2720,8	2,25	4,97246	0,00183
			rata-rata	0,00183

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kecepatan Estimasi

V_a (V)	ω_m (RPM)	i_a (mA)	e_a (V)	ω_{m_hitung} (RPM)	Galat (%)
4,98	2711,1	2,30	4,97	2715,61	0,00
4,98	2712,1	2,26	4,97	2715,69	0,17
4,98	2713,8	2,26	4,97	2715,69	0,13
4,98	2714,4	2,26	4,97	2715,69	0,07
4,98	2715,7	2,25	4,97	2715,71	0,05
4,98	2718,0	2,25	4,97	2715,71	0,00
4,98	2718,1	2,25	4,97	2715,71	0,08
4,98	2720,8	2,25	4,97	2715,71	0,09
4,98	2711,1	2,30	4,97	2715,61	0,19
				rerata	0,10

B. Hasil Pengendalian Kecepatan Motor

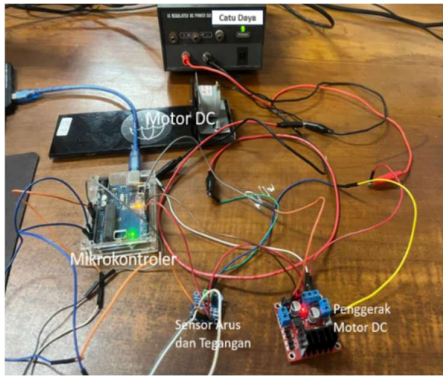
Implementasi pengendali kecepatan motor DC tanpa sensor kecepatan dapat dilihat pada Gambar 5 Sistem terdiri dari

- catu daya DC,
- motor DC EG-530AD-2F CW,
- sensor arus dan tegangan INA 219,
- penggerak motor DC tipe L298N, dan
- Mikrokontroler Arduino Uno.

Pada Gambar 6 ditunjukkan tanggapan sistem kendali kecepatan motor DC tanpa sensor kecepatan. Dengan *set point* (SP) sebesar 1400 RPM, diperoleh nilai akhir (*Final Value/FV*) sebesar 1391,8 RPM. Dari hasil ini maka dapat diperoleh nilai *Steady State Error* (SSE) sebesar 0,59% sesuai dengan persamaan 10.

$$\begin{aligned}
 SSE &= \frac{SP-FV}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{1400-1391,8}{1400} \times 100\% \\
 &= 0,59\% \quad (10)
 \end{aligned}$$

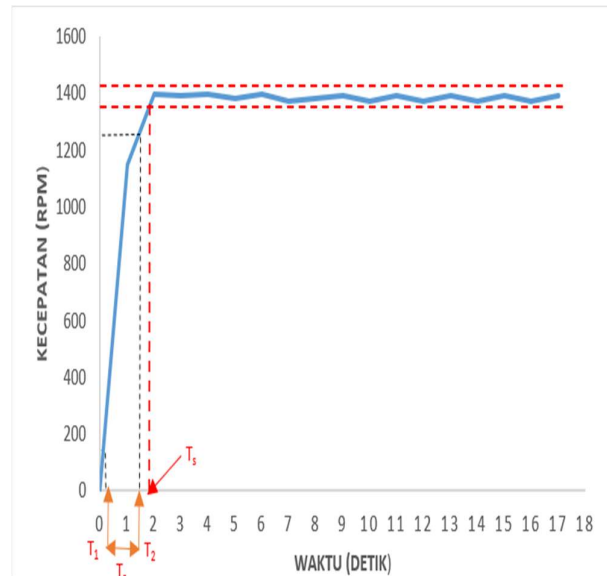
Dengan SSE di bawah 5% ini berarti sistem kendali tanpa sensor kecepatan dengan *observer* metode *R* sudah dapat mencapai nilai yang diinginkan.



Gambar 5. Implementasi pengendali kecepatan motor DC tanpa sensor kecepatan

Tabel 4. Perbandingan Kecepatan Motor Estimasi Hasil Implementasi Sistem Kendali tanpa Sensor kecepatan dan Pengukuran Kecepatan Motor DC dengan *Tachometer*

ω_m tachometer (RPM)	ω_m sistem (RPM)	Galat (%)
0,00	0,00	0,00
1243,70	1151,22	7,44
1421,40	1398,68	1,60
1413,50	1391,80	1,54
1447,30	1398,68	3,36
1395,20	1384,93	0,74
1458,30	1398,68	4,09
1430,70	1371,18	4,16
1431,50	1384,93	3,25
1471,20	1391,80	5,40
1403,60	1371,18	2,31
1447,70	1391,80	3,86
1416,40	1371,18	3,19
1442,10	1391,80	3,49
1395,00	1371,18	1,71
1461,00	1391,80	4,74
1394,40	1371,18	1,67
1448,70	1391,80	3,93
	rerata	3,14



Gambar 6. Tanggapan sistem pengendali kecepatan motor DC tanpa sensor kecepatan

Dari Gambar tampak bahwa nilai puncak (C_{max}) sebesar 1398,68 RPM sehingga lonjakan (persen *overshoot* (%OS)) dapat dihitung dengan persamaan 11.

$$\begin{aligned}
 \%OS &= \frac{C_{max}-FV}{FV} \times 100\% \\
 &= \frac{1398,68-1391,8}{1391,8} \times 100\% \\
 &= 0,49\% \quad (11)
 \end{aligned}$$

Dengan lonjakan di bawah 20% maka pengendalian kecepatan motor DC ini sudah berjalan dengan baik.

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa tanggapan sistem kendali tanpa sensor kecepatan ini mempunyai nilai *Rise Time* (T_r) sebesar 1,3 detik dan *Settling Time* (T_s) sebesar 1,9 detik. Hal ini menunjukkan bahwa pengendali dapat beroperasi dengan baik. Hal ini terbukti dengan motor cepat mencapai kestabilan.

Keseluruhan parameter karakteristik tanggapan sistem kendali kecepatan tanpa menggunakan sensor kecepatan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 5. Pada penelitian sebelumnya dijelaskan bahwa kinerja *observer* metode *R* mempunyai kinerja yang kurang baik dibandingkan dengan kinerja *observer* metode *L-R*. Dari penelitian ini dapat dibuktikan bahwa *observer* metode *R* dengan tambahan pengendali mode *On-off* dapat mengendalikan kecepatan motor dengan kinerja yang baik.

Tabel 5. Karakteristik Tanggapan Transien

Parameter	Nilai	Satuan
Kecepatan yang diinginkan (SP)	1400	RPM
Nilai akhir (FV)	1391,8	RPM
Steady State Error (SSE)	0,59	%
C_{max}	1398,68	RPM
%OS	0,49	%
T_1	0,2	detik
T_2	1,5	detik
T_r (Rise Time)	1,3	detik
T_s (Settling Time)	1,9	detik

IV. KESIMPULAN

Sistem kendali tanpa sensor kecepatan untuk motor DC EG-530AD-2F CW dengan *observer* metode *R* dan kontroler *On-Off* dapat mengendalikan kecepatan motor dengan kinerja yang baik. Tanggapan sistem mempunyai karakteristik SSE sebesar 0.59%, lonjakan sebesar 0,49%, T_r sebesar 1.3 detik dan T_s sebesar 1.9 detik.

REFERENSI

- [1] B. Wuri Harini, A. Subiantoro, and F. Yusivar, "Stability of the Rotor Flux Oriented Speed Sensorless Permanent Magnet Synchronous Motor Control," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, vol. 2018-June, pp. 283–289, 2018, doi: 10.1109/ISIE.2018.8433862.
- [2] B. W. Harini, "The Effect of Motor Parameters on the Induction Motor Speed Sensorless Control System using Luenberger Observer," vol. 4, no. 1, pp. 59–74, 2022.
- [3] G. Tian, Y. Yan, W. Jun, Z. Y. Ru, and Z. X. Peng, "Rotor Position Estimation of Sensorless PMSM Based on Extended Kalman Filter," *2018 IEEE Int. Conf. Mechatronics, Robot. Autom. ICMRA 2018*, pp. 12–16, 2018, doi: 10.1109/ICMRA.2018.8490558.
- [4] S. Hussain and M. A. Bazaz, "Sensorless control of PMSM using Extended Kalman filter with Sliding mode controller," *2014 IEEE Int. Conf. Power Electron. Drives Energy Syst. PEDES 2014*, vol. 2, no. 01, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1109/PEDES.2014.7042090.
- [5] R. P. Tripathi, A. K. Singh, P. Gangwar, and R. K. Verma, "Sensorless speed control of DC motor using EKF estimator and TSK fuzzy logic controller," *Automatika*, vol. 63, no. 2, pp. 338–348, 2022, doi: 10.1080/00051144.2022.2039990.
- [6] H. Kim, J. Son, and J. Lee, "A high-speed sliding mode observer for the sensorless speed control of a PMSM," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 9, pp. 4069–4077, 2011, doi: 10.1109/TIE.2010.2098357.
- [7] Y. Zhang, Y. Nie, and L. Chen, "Adaptive fuzzy fault-tolerant control against time-varying faults via a new sliding mode observer method," *Symmetry (Basel)*, vol. 13, no. 9, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/sym13091615.
- [8] Z. Li, J. Wang, S. Wang, S. Feng, Y. Zhu, and H. Sun, "Design of Sensorless Speed Control System for Permanent Magnet Linear Synchronous Motor Based on Fuzzy Super-Twisted Sliding Mode Observer," *Electron.*, vol. 11, no. 9, 2022, doi: 10.3390/electronics11091394.
- [9] L. Saihi, A. Bouhenna, M. Chenafa, and A. Mansouri, "A robust sensorless SMC of PMSM based on sliding mode observer and extended Kalman filter," *2015 4th Int. Conf. Electr. Eng. ICEE 2015*, pp. 1–4, 2016, doi: 10.1109/INTEE.2015.7416838.
- [10] L. Colombo, M. L. Corradini, A. Cristofaro, G. Ippoliti, and G. Orlando, "An Embedded Strategy for Online Identification of PMSM Parameters and Sensorless Control," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 27, no. 6, pp. 2444–2452, 2019, doi: 10.1109/TCST.2018.2862415.
- [11] Q. Wang, G. Wang, N. Zhao, G. Zhang, Q. Cui, and D. Xu, "An Impedance Model-Based Multiparameter Identification Method of PMSM for Both Offline and Online Conditions," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 36, no. 1, pp. 727–738, 2021, doi: 10.1109/TPEL.2020.3000896.
- [12] X. Ma and C. Bi, "A technology for online parameter identification of permanent magnet synchronous motor," *CES Trans. Electr. Mach. Syst.*, vol. 4, no. 3, pp. 237–242, 2020, doi: 10.30941/cestems.2020.00029.
- [13] A. Glumineau and J. de León Morales, *Sensorless AC electric motor control*. Springer, 2015.
- [14] F. Yusivar and N. Avianto Wicaksono, "Simulasi Mesin Induksi Tanpa Sensor Kecepatan Menggunakan Pengendali Orientasi Vektor," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 4, 2016, doi: 10.22146/jnteti.v4i4.171.
- [15] J. Agrawal and S. Bodkhe, "Low speed sensorless control of PMSM drive using high frequency signal injection," *12th IEEE Int. Conf. Electron. Energy, Environ. Commun. Comput. Control (E3-C3), INDICON 2015*, pp. 4–9, 2016, doi: 10.1109/INDICON.2015.7443383.
- [16] O. M. Arafa, G. A. Abdel Aziz, M. I. Abu El-Sebah, and A. A. Mansour, "Observer-based sensorless speed control of PMSM: A focus on drive's startup," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 181–209, 2016, doi: 10.1016/j.jesit.2015.05.004.
- [17] Bernadeta Wuri Harini, "Pengaruh Parameter Motor pada Sistem Kendali tanpa Sensor Putaran," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 3, pp. 236–242, 2021, doi: 10.22146/jnteti.v10i3.1848.

- [18] B. Wuri, P. Setyo, and Y. Krisma, "Kinerja Panel Surya dengan Pelacak Matahari Dual Aksis menggunakan Algoritma berbasis Sensor LDR," pp. 49–54, 2022.
- [19] Agus Suryanto, Noor Hudallah, Tatyantoro Andrasto, Cahyo Fajar Adhiningtyas, and Seftriana Anifa Khusniasari, "Optimalisasi Keluaran Panel Surya Menggunakan Solar Tracker Berbasis Kamera Terintegrasi Raspberry Pi," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 3, pp. 282–290, 2021, doi: 10.22146/jnteti.v10i3.1142.
- [20] Z. Alpholicy X., S. S. Bhandari, P. P. Dsouza, and D. C. Raina, "Personal Assistant Robot," *Int. J. Appl. Sci. Smart Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 145–152, 2021, doi: 10.24071/ijasst.v3i2.2790.
- [21] Muhammad Ridwan Arif Cahyono, Ita Mariza, and Wirawan, "Sistem Pemantauan dan Pengendalian Sepeda Listrik Berbasis Internet of Things," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 11, no. 1, pp. 53–60, 2022, doi: 10.22146/jnteti.v11i1.3183.
- [22] E. Maharddhika and L. Widjiantoro, "Rancangan Observer Kecepatan untuk Motor DC pada PLC," vol. 9, no. 2, pp. 236–241, 2020.
- [23] T. Abut, "Control of a Dc Motor using Sensorless Observer Based Sliding Mode Control Method," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 66, no. 2, pp. 67–72, 2018, doi: 10.14445/22315381/ijett-v66p212.
- [24] T. Georgiev and M. Mikhov, "A Sensorless Speed Control System for DC Motor Drives," *Sci. J. Riga Tech. Univ. Power Electr. Eng.*, vol. 25, no. 25, pp. 155–158, 2010, doi: 10.2478/v10144-009-0033-z.
- [25] M. Vidlak, L. Gorel, P. Makys, and M. Stano, "Sensorless speed control of brushed dc motor based at new current ripple component signal processing," *Energies*, vol. 14, no. 17, 2021, doi: 10.3390/en14175359.
- [26] B. W. Harini, "Perbandingan Dua Observer Kecepatan Motor Arus Searah pada Sistem Kendali tanpa Sensor Kecepatan," *Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 11, no. 4, pp. 267–273, 2022.
- [27] B. W. Harini, F. Husnayain, A. Subiantoro, and F. Yusivar, "A synchronization loss detection method for PMSM speed sensorless control," *J. Teknol.*, vol. 82, no. 4, pp. 47–54, 2020, doi: 10.11113/jt.v82.14369.
- [28] "EG-530AD-2F datasheet." [Online]. Available: <https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/ETC/EG-530AD-2F/pdf.php?id=914636>.