



Analisis Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Penyearah Terkendali Berbasis Simulasi MATLAB/Simulink

Khata Ershada Sinuraya

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

Desman Jonto Sinaga

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

Diki Wahyudi

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

Jeki Parlindungan Simarmata

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

Alamat: Jln. Willem Iskandar, Pasar V, Percut Sei Tuan, Deli Serdang, Sumatera Utara

Korespondensi penulis: khataershada.5231230013@mhs.unimed.ac.id

Abstrak. *This study discusses a direct current (DC) motor speed control system using a thyristor-based controlled rectifier circuit simulated in MATLAB/Simulink software. The purpose of this study is to analyze the effect of firing angle on the rectifier output voltage and the DC motor speed response. The method used includes modeling a full-wave single-phase power conversion system with four SCRs, then connected to an armature control type DC motor block to obtain the characteristics of the relationship between voltage, current, and motor speed. The simulation results show that changes in firing angle directly affect the average output voltage and produce proportional variations in motor speed. As the firing angle increases, the average voltage and motor speed decrease. This simulation provides an in-depth understanding of the working principle of DC motor speed control using a controlled rectifier as a basis for designing an efficient power control system.*

Keywords: DC Motor; Controlled Rectifier; Speed; Simulation; MATLAB/Simulink.

Abstrak. *Penelitian ini membahas sistem pengendalian kecepatan motor arus searah (DC) menggunakan rangkaian penyearah terkendali berbasis thyristor yang disimulasikan pada perangkat lunak MATLAB/Simulink. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis pengaruh sudut penyalan (firing angle) terhadap tegangan keluaran penyearah serta respon kecepatan motor DC. Metode yang digunakan meliputi pemodelan sistem konversi daya satu fasa gelombang penuh dengan empat SCR, kemudian dikoneksikan dengan blok motor DC tipe armature control untuk memperoleh karakteristik hubungan antara tegangan, arus, dan kecepatan motor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan sudut penyalan secara langsung memengaruhi tegangan rata-rata keluaran dan menghasilkan variasi kecepatan motor secara proporsional. Ketika sudut penyalan meningkat, tegangan rata-rata dan kecepatan motor menurun. Simulasi ini memberikan pemahaman mendalam mengenai prinsip kerja pengendalian kecepatan motor DC menggunakan penyearah terkendali sebagai dasar perancangan sistem kontrol daya yang efisien.*

Kata Kunci: Motor DC; Penyearah Terkendali; Kecepatan; Simulasi; MATLAB/Simulink.

PENDAHULUAN

Kecepatan putar motor arus searah (DC) merupakan parameter kritis dalam banyak sistem industri seperti konveyor, lif, dan sistem otomatisasi lainnya. Kendali kecepatan yang tepat memungkinkan pengoperasian yang efisien dan stabil, terutama saat beban berubah-ubah (Yahia, 2025). Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC adalah dengan mengubah tegangan armature melalui rangkaian penyearah terkendali berbasis thyristor atau SCR (Silicon Controlled Rectifier) (Basic DC Motors, n.d.).

Motor DC memiliki karakteristik bahwa torsi yang dihasilkan berbanding lurus dengan arus armature, dan tegangan balik (back EMF) berbanding lurus dengan kecepatan putar (Yashwant & Bhosale, 2024) (You, Be, & In, 2024). Untuk menjaga fluks

medan tetap, maka pengaturan tegangan armature menjadi cara yang praktis untuk mengatur kecepatan (Baharom, Hamzah, Zaliha, & Noor, 2007). Dengan menghubungkan motor DC ke tegangan DC yang dihasilkan oleh penyearah terkendali, maka kecepatan dapat dikendalikan melalui sudut penyalan (firing angle) SCR mengubah rata-rata tegangan DC keluaran (Drives & Controlled, n.d.).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sudut penyalan SCR terhadap tegangan keluaran penyearah dan respons kecepatan motor DC melalui simulasi menggunakan MATLAB/Simulink. Dengan pendekatan simulasi ini, variabel seperti tegangan, arus, torsi, dan kecepatan dapat dipantau dengan mudah dan sistem dapat diuji dalam berbagai kondisi beban dan settingan kontrol (Fambudi & Sobhita, n.d.) (Gunanto, n.d.). Hasil dari penelitian diharapkan memberikan pemahaman kuantitatif mengenai hubungan antara sudut firing, tegangan DC, dan kecepatan motor, serta menjadi dasar untuk perancangan sistem kontrol kecepatan motor DC pada aplikasi nyata (Verma, Rai, Singh, & Channid, 2021).

KAJIAN TEORITIS

2.1 Motor DC dan Pengendali Kecepatan

Motor listrik arus searah DC adalah mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik putaran melalui interaksi antara medan magnet dan arus jangkar (Hakim, 2024). Tegangan armature, arus jangkar, tahanan jangkar, serta tegangan balik (back EMF) menjadi parameter penting dalam karakteristiknya (Trisna, Muhammad, Mubarrok, Yuniza, & Ghafirul, n.d.).

Secara umum berlaku persamaan:

$$V = E_b + I_a R_a$$

dimana V adalah tegangan armature, E_b adalah back EMF yang proporsional dengan kecepatan ω , dan $I_a R_a$ adalah drop arus jangkar times tahanan (Information, 2022).

Kecepatan motor DC ω dapat diekspresikan sebagai:

$$\omega = \frac{V - I_a R_a}{K_e}$$

dengan K_e konstanta motor.

Metode pengendalian kecepatan motor DC secara umum mencakup, pengaturan tegangan armature, pengatur tahanan jangkar, dan pengaturan fluks medan (Kang & Kim, 2018). Pengendali tegangan armature dianggap sebagai metode efisien untuk sistem kecerdasan variabel pada beban yang berubah-ubah (Trisna, Eviningsih, & Intyanto, 2023).

2.2 Penyearah Terkendali Gelombang Penuh

Penyearah terkendali adalah rangkaian elektronik daya yang mengubah tegangan AC menjadi DC sekaligus memungkinkan pengaturan tegangan keluaran melalui sudut penyalan dari perangkat semikonduktor seperti Silicon Controlled Rectifier (SCR) (Kerutagi, 2018) (Rameshappa, Telagi, & Hirekeri, 2024). Pada konfigurasi satu fasa gelombang penuh menggunakan jembatan empat SCR, kedua setengah siklus dari gelombang AC dimanfaatkan. Rata-rata tegangan keluaran V_{dc} (untuk beban resistif ideal) dapat diaproksimasi dengan persamaan:

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \cos(\alpha)$$

dimana V_m adalah tegangan puncak sumber AC dan α adalah sudut penyalan.

Mode konduksi beban dapat berdampak pada bentuk arus dan tegangan, yakni mode konduksi komtinu (CCM) atau diskontinu (DCM) yang mempengaruhi ripple dan karakter keluaran (Muskhir, Luthfi, Yuhendri, Aswardi, & Fortuna, 2024). Penggunaan penyearah terkendali memungkinkan variabel tegangan DC yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai input ke motor DC, sehingga menjadi mekanisme utama pengaturan kecepatan motor dalam sitem yang anda teliti.

2.3 Pemodelan Sistem Konverter Daya dan Hubungan Tegangan-Kecepatan Motor

Sistem konverter daya muncul dari sumber satu fasa AC ke motor DC melalui penyearah terkendali dipandang sebagai rantai energi listrik-mekanik dengan dua proses utama:

1. Konverter $AC \rightarrow DC$
2. Transformasi Tegangan DC

menjadi kecepatan putar motor. Pada tahap penyearah terkendali, tegangan keluaran rata-rata dapat diekpresikan sebagai

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \cos(\alpha)$$

dengan V_m tegangan puncak sumber AC dan α sudut penyalan SCR. Tegangan DC ini kemudian mempengaruhi kondisi motor DC armature melalui persamaan (Nugraha & Sobhita, 2024).

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K_e \omega$$

dan persamaan mekanik

$$J \frac{d\omega}{dt} + B_\omega = K_t i_a - T_L$$

Dengan konstanta $K_e = K_t$ dalam model yang umum. Dengan kombinasi kedua modul tersebut, maka diperoleh hubungan linear aproksimasi antara tegangan armature V_a dan kecepatan sudut ω pada kondisi steady-state sebagai

$$\omega = \frac{\frac{K_t}{R_a} V_a - T_L}{\frac{K_t K_e}{R_a} + b}$$

yang mengilustrasikan bahwa semakin besar V_a , semakin besar ω dengan torsi beban tetap. Pemodelan ini penting untuk simulasi karena memungkinkan desain blok kontrol dan analisis respon dinamis motor terhadap perubahan tegangan atau beban. Sebagai contoh, literatur menunjukkan bahwa model simulasi motor DC yang digabungkan dengan penyearah terkendali dapat memperlihatkan efek nyata dari variasi sudut penyalan terhadap kecepatan motor dan ripple arus (Nasikhin, n.d.).

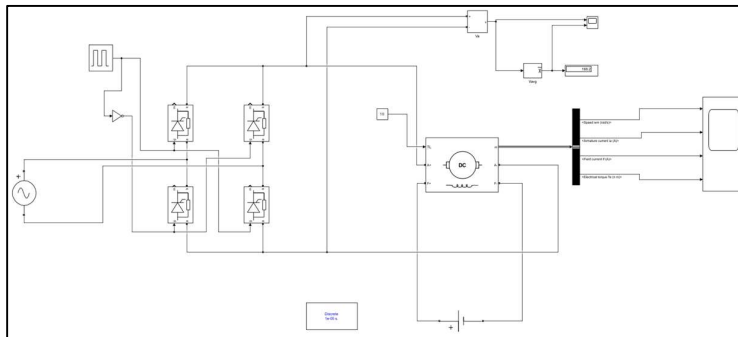
METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental berbasis simulasi numerik menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink untuk menganalisis sistem pengendali kecepatan motor arus searah DC melalui rangkaian penyearah terkendali gelombang penuh berbasis Silicon Controlled Rectifier (SCR) (Nugraha, 2025). Model sistem terdiri atas sumber tegangan AC satu fasa, jembatan empat SCR, rangkaian pemacu dengan pengaturan sudut penyalan filter kapasitro opsional, serta motor DC dengan pembebanan torsi tetap.

Tabel 1. Sfesifikasi Motor

R_a	1 Ohm
L_a	0,01 H
K_t	0,1
K_e	0,1
J	$0,01 kg.m^2$
B	0,001 N.m.s/rad

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN



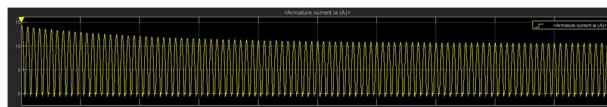
Gambar 1. Rangkaian simulasi kendali sistem motor DC

Simulasi dilakukan dengan satu titik uji sudut penyalan $\alpha = 90^\circ$, yang mewakili kondisi tengah antara konduksi penuh dan konduksi minimum pada penyearah terkendali. Tegangan sumber sebesar 220 V, 50 Hz dikonversi menjadi tegangan DC variabel oleh jembatan empat SCR. Saat $\alpha = 90^\circ$, SCR mulai konduksi pada titik tengah gelombang AC, sehingga hanya sebagian dari energi sinusoidal yang diteruskan menuju beban motor. Secara teoritis, nilai rata-rata tegangan keluaran penyearah ditentukan oleh:

$$V_{dc,avg} = \frac{2V_m}{\pi} \cos(\alpha)$$

dengan $V_m = \sqrt{2} \times 220 = 311 \text{ V}$, maka untuk $\alpha = 90^\circ$, diperoleh $V_{dc,avg} = 0$. Namun dalam simulasi, karena terdapat induktansi jangkar L_a , arus tidak turun ke nol seketika, sehingga tegangan efektif masih terbaca positif dan motor tetap berputar secara perlahan.

4.1 Arus Armature



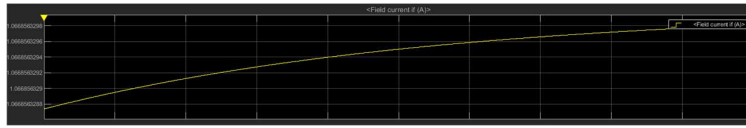
Gambar 2. Grafik Arus Armature

Arus armature i_a beresilasi mengikuti pulsa tegangan dari penyearah dan menunjukkan bentuk ripple yang tidak simetris. Secara matematis, hubungan dinamis antara tegangan keluaran dan arus armature diberikan oleh:

$$V_{dc} = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K_e \omega$$

Pada awal simulasi $t = 0$, kecepatan masih nol sehingga $K_e \omega$ kecil, menghasilkan lonjakan arus yang besar. Setelah motor mencapai kondisi tunak, i_a menurun dan stabil pada sekitar 10 A. Fluktuasi arus ini berpengaruh langsung terhadap pembentukan torsi elektromagnetik.

4.2 Arus Medan



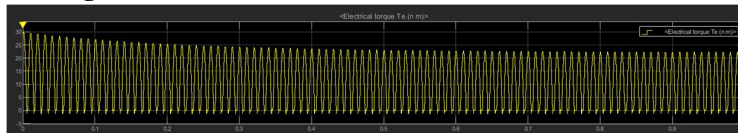
Gambar 3. Grafik Arus Medan

Arus medan i_f bersumber dari tegangan DC konstan sehingga fluktuasinya kecil. Persamaan dasar rangkaian medan adalah:

$$V_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt}$$

Hasil simulasi menunjukkan i_f mencapai keadannya stabil sekitar 1 A, menandakan fluks magnet konstan. Dengan fluks magnet tetap, pengendalian kecepatan motor bergantung sepenuhnya pada variasi tegangan armature akibat sudut penyalan α .

4.3 Torsi Elektromagnetik



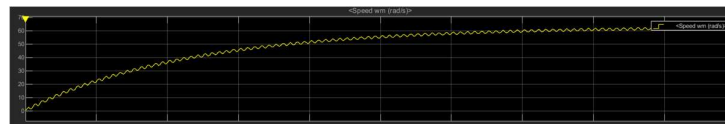
Gambar 4. Grafik Torsi Elektromagnetik Motor DC

Torsi elektromagnetik T_e mengikuti bentuk gelombang arus armature karena berbanding lurus dengannya:

$$T_e = K_t i_a$$

Pada awal simulasi, lonjakan arus menghasilkan puncak torsi hingga $\pm 70 \text{ N.m}$, kemudian menurun dan stabil di sekitar 60 N.m . Ripple torsi disebabkan oleh sifat tegangan hasil penyearah. Nilai torsi ini menjadi gaya penggerak utama yang menentukan percepatan kecepatan motor.

4.4 Kecepatan Putar Motor



Gambar 5. Grafik Kecepatan Putar Motor

Kecepatan motor meningkat secara eksponensial dari 0 rad/s menuju kondisi tunak sekitar 190 rad/s. Respon tersebut sesuai dengan model mekanik:

$$J \frac{d\omega}{dt} + B_\omega = K_t i_a - T_L$$

ketika $K_t i_a > T_L$, motor berakselerasi hingga tercapai kesetimbangan $K_t i_a = T_L + B_\omega$. Karena tegangan rata-rata pada $\alpha = 90^\circ$ relatif kecil, kecepatan akhir juga rendah dibandingkan kondisi $\alpha < 60^\circ$. Hasil ini membuktikan hubungan berbanding terbalik antar sudut penyalan dengan kecepatan motor.

4.5 Analisis Keseluruhan

Hasil simulasi menunjukkan konsistensi dengan teori bahwa semakin besar sudut penyalan α , maka semakin kecil tegangan rata-rata penyearah, sehingga arus armature, torsi elektromagnetik, dan kecepatan motor menurun. Arus medan tetap konstan karena sumber DC murni, menandakan perubahan kecepatan semata-mata akibat pengaturan sudut penyalan. Hubungan matematis yang mengikat keseluruhan sistem adalah:

$$\begin{cases} V_{dc} = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K_e \omega \\ T_e = K_t i_a \\ J \frac{d\omega}{dt} + B_\omega = T_e - T_L \end{cases}$$

Hasil menunjukkan bahwa simulasi $\alpha = 90^\circ$ berhasil mempresentasikan perilaku dinamis motor DC yang dikontrol melalui penyearah terkendali dengan baik dan stabil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi pengendalian kecepatan motor DC menggunakan penyearah terkendali berbasis empat SCR pada sudut penyalan $\alpha = 90^\circ$, diperoleh bahwa peningkatan sudut penyalan berbanding terbalik terhadap tegangan rata-rata keluaran penyearah yang selanjutnya memengaruhi arus armature, torsi elektromagnetik, dan kecepatan putar motor. Hasil simulasi menunjukkan arus armature dan torsi berfluktuasi di awal akibat respon transien induktansi jangkar, kemudian mencapai kondisi tunak yang stabil dengan kecepatan steady-state sekitar 190 rad/s. Arus medan tetap konstan karena sumber eksitasi DC yang terpisah, menandakan bahwa perubahan kecepatan semata-mata dikendalikan oleh variasi sudut penyalan. Hubungan matematis antara tegangan, arus, torsi, dan kecepatan motor sesuai dengan teori dasar motor DC, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaturan sudut penyalan pada penyearah terkendali merupakan metode efektif dalam mengatur kecepatan motor DC secara simulatif menggunakan MATLAB/Simulink.

DAFTAR PUSTAKA

- Baharom, R., Hamzah, M. K., Zaliha, S., & Noor, M. (2007). *SINGLE-PHASE CONTROLLED RECTIFIER USING SINGLE-PHASE*. (December). <https://doi.org/10.1109/PEDS.2007.4487899>
- Basic DC Motors*. (n.d.).
- Drives, D. C., & Controlled, U. (n.d.). *CHAPTER THIRTEEN DC DRIVES USING CONTROLLED*. (i).
- Fambudi, J. S., & Sobhita, R. A. (n.d.). *Publication Periode Design and Analysis of a Thyristor-Based Controlled Rectifier Circuit for Stabilization of Speed and Rotation in DC Motors*.
- Gunanto, B. (n.d.). *A Study on the Application of One-Phase Controlled Wave Rectifiers for Full Resistive Load in Community*. xx(xx).
- Hakim, L. (2024). *Single Phase Controlled Rectifier using TN3050H-12 Thyristor and VS-E5PX3012 Diode : Power Control and Energy Efficiency in Marine Applications 2 Single-Phase Controlled Rectifier*. 23, 318–323. <https://doi.org/10.37394/23201.2024.23.31>
- Information, A. (2022). *Original Research Article Speed Control of Direct Current Motors * Onah*, . 7(1), 319–329.
- Kang, J. H. K., & Kim, J. K. S. (2018). *Speed control for direct current motor using an AFE rectifier 2 . Rectifier Types and Characteristics 3 . DC Motor Control Using AFE Rectifier*. 42(10), 829–835.
- Kerutagi, D. (2018). *CLOSED LOOP CONTROL OF DC MOTOR USING FIRING ANGLE*. 5(4), 40–46.
- Muskhir, M., Luthfi, A., Yuhendri, M., Aswardi, A., & Fortuna, A. (2024). *Performance Analysis of DC Motors With Integrated Proportional-Integral and Artificial Neural Network Control*. 13(4), 2684–2693. <https://doi.org/10.18421/TEM134>

- Nasikhin, K. (n.d.). *Study on Controlled Rectifiers with Optocoupler Integration : Evaluating Impact on DC Motor Voltage Stabilization and Rotational Speed Control*. xx(xx).
- Nugraha, A. T. (2025). *RESEARCH ARTICLE A Comparative Study on DC Motor Speed Regulation Using Full-Wave Uncontrolled Rectifiers*. 43–52.
- Nugraha, A. T., & Sobhita, R. A. (2024). *Publication Periode Controlled Single-Phase Full-Wave Rectifier Experiment for DC Shunt Motor Control*.
- Rameshappa, B. S., Telagi, K. S., & Hirekeri, M. M. (2024). *Speed control and characteristics of DC shunt motor using Simulink*. 23(01), 1355–1364.
- Trisna, A., Eviningsih, R. P., & Intyanto, G. W. (2023). *Three Phase Controlled Rectifier Circuit for Characteristic Control in DC Shunt Motor*. 107–112.
<https://doi.org/10.5220/0011713700003575>
- Trisna, A., Muhammad, N., Mubarrok, R., Yuniza, S. I., & Ghafirul, M. (n.d.). *Analysis of Thyristor Usage in Controlled Half-Wave Rectifiers on DC Motor Speed Control*. xx(xx).
- Verma, A., Rai, A., Singh, A. K., & Channid, H. K. (2021). *Design and Simulation of Armature Controlled DC Motor using*. 8(12), 237–242.
- Yahia, T. T. (2025). *DC Motor Speed / Torque Estimation and Control Based on Transfer Function Characteristics*. *2023 International Conference on Engineering, Science and Advanced Technology (ICESAT)*, (June 2023), 156–161.
<https://doi.org/10.1109/ICESAT58213.2023.10347312>
- Yashwant, S., & Bhosale, P. S. A. (2024). *International Journal of Research Publication and Reviews Optimized Closed-Loop Speed Control of Motors via Full-Bridge Controlled Rectifier Systems*. 5(11), 870–875.
- You, A., Be, M., & In, I. (2024). *The Implementation of Silicon Controlled Rectifiers for Dc*. 030035(December).