

PENGENDALI MOTOR DC INDUSTRI BERBASIS PSIM DAN PENYEARAH SATU FASA

Endang Pudji Purwanti¹⁾, Anggara Trisna Nugraha²⁾, Rama Arya Sobhita³⁾, dan Dita Dini Rivanda⁴⁾

¹Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^{2,3,4}Teknik kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: endangpudjip@ppns.ac.id

Abstract

The development of three-phase DC motor technology has opened up various solutions for motor speed control in industrial applications. The use of autotransformers is often considered inefficient and impractical, especially when expensive and difficult-to-replace components fail. Furthermore, suboptimal armature voltage regulation can increase operational safety risks. This study proposes a more efficient, economical, and safe three-phase DC motor speed control system, using PSIM software and a thyristor-based fully controlled rectifier. This system is simulated with the aim of reducing the potential for operational failures that endanger worker safety, while simultaneously improving energy efficiency. Through PSIM simulation, motor speed regulation can be carried out more precisely, thereby reducing the risk of operational errors. The simulation results show that the greater the ignition angle, the motor speed also increases. For example, at $T = 0 \text{ Nm}$ and an ignition angle of 0° , a DC voltage of 184.64 volts is generated with a motor speed of 2927.94 RPM. This system provides a more reliable and energy-efficient motor control solution for industrial environments that require accurate and safe speed regulation.

Keywords: Speed controller, three-phase DC motor, fully controlled rectifier, PSIM, work safety, energy efficiency.

PENDAHULUAN

Penyearah merupakan komponen penting dalam sistem konversi energi listrik yang berfungsi mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) (Nugraha et al., 2022). Berdasarkan kemampuannya, penyearah diklasifikasikan menjadi tidak terkendali dan terkendali. Penyearah terkendali menggunakan perangkat semikonduktor seperti thyristor untuk mengatur tegangan output DC sesuai kebutuhan sistem, dan terbagi menjadi penyearah terkendali penuh dan Sebagian (Ali et al., 2020). Teknologi ini banyak digunakan dalam pengaturan kecepatan motor DC, terutama dalam sistem otomasi industri yang berkaitan dengan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), mengingat pentingnya pengendalian kecepatan yang presisi dalam lingkungan kerja berisiko tinggi (Chien et al., 2015).

Salah satu metode yang efektif untuk mengatur kecepatan motor DC adalah melalui pengaturan tegangan terminal (V_t) pada lilitan jangkar, baik saat motor mulai beroperasi

maupun saat berjalan penuh. Elektronika daya memungkinkan pengaturan ini menjadi lebih efisien dan presisi, sekaligus mendukung analisis pengaruh beban serta meminimalkan risiko kerusakan komponen mesin yang berbahaya bagi operator (Hadi et al., 2019; Nugraha et al., 2022a; Soeprijanto et al., 2021).

Pada motor DC tiga fasa yang umum digunakan di industri, pengaturan kecepatan dilakukan melalui pengaturan fluks medan dan tegangan jangkar menggunakan penyearah terkendali satu fasa berbasis thyristor (Nugraha, 2022). Rangkaian ini memastikan kestabilan tegangan dan arus motor dalam kondisi beban dinamis.

Efektivitas sistem diuji melalui simulasi menggunakan PSIM 9.1 dan SIMVIEW. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sudut penyalaan thyristor memengaruhi tegangan output dan kecepatan motor (Zhang et al., 2018). Sebagai contoh, pada beban nol dan sudut penyalaan 0° , sistem menghasilkan tegangan 184,64 V dengan kecepatan 2927,94 RPM. Kecepatan motor meningkat seiring bertambahnya sudut penyalaan, membuktikan bahwa sistem ini adaptif terhadap kebutuhan beban.

Dengan demikian, pengendalian motor DC tiga fasa berbasis penyearah terkendali tidak hanya efisien secara energi, tetapi juga lebih aman untuk diterapkan di lingkungan industri berisiko tinggi, mendukung keselamatan kerja dan keberlangsungan produksi (Rahman et al., 2024; Kumar et al., 2016).

METODE PENELITIAN

2.1 Motor DC

Motor arus searah (DC) banyak digunakan di industri karena memiliki keunggulan seperti rentang pengaturan kecepatan yang luas, pengendalian yang mudah, serta karakteristik torsi fleksibel pada kecepatan variabel (Nugraha & Eviningsih, 2022; Almunawar et al., 2024). Arus searah yang mengalir pada lilitan menghasilkan fluks magnetik, sementara tegangan induksi pada lilitan jangkar dipengaruhi oleh komponen komutator dan sikat yang bergerak sesuai posisi rotor (Saputra et al., 2024). Proses ini menghasilkan putaran rotor melalui induksi tegangan pada lilitan jangkar (Pangestu et al., 2024).

Pengaturan kecepatan motor DC dapat dilakukan melalui metode, seperti pengaturan tegangan jangkar (anchor voltage) (Fauzi et al., 2024). Setiap metode memiliki keunggulan tersendiri dan dipilih berdasarkan kebutuhan aplikasi, baik dari segi respons kecepatan, efisiensi energi, maupun kestabilan sistem.

2.3 Pengendali Kecepatan Motor melalui Regulasi Tegangan Jangkar

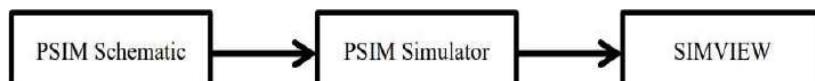
Salah satu metode umum dalam pengendalian kecepatan motor DC adalah pengaturan tegangan pada lilitan jangkar, karena kecepatan motor berbanding lurus dengan tegangan jangkar (Amrullah et al., 2023). Untuk meningkatkan akurasi dan stabilitas sistem terhadap perubahan beban, digunakan pengendali integral yang memungkinkan penyesuaian lebih presisi (Hidayana et al., 2024). Pendekatan ini juga penting dalam konteks keselamatan kerja, karena fluktuasi kecepatan yang tidak terkendali dapat menimbulkan risiko kecelakaan, terutama di lingkungan industri berisiko tinggi (Pangestu et al., 2024).

2.4 Penyearah Terkendali Satu Fasa

Penyearah terkendali mengubah tegangan AC menjadi DC yang dapat diatur, dan terbagi menjadi konverter penuh (menggunakan SCR sepenuhnya) serta konverter sebagian (kombinasi SCR dan dioda) (Khan, Sharif, & Ahmad, 2018). Pemilihannya disesuaikan dengan kebutuhan regulasi daya dan efisiensi sistem (Brown, Patel, & Edwards, 2020).

2.5 PSIM

PSIM adalah perangkat lunak simulasi yang dirancang untuk analisis elektronika daya dan konversi energi, dengan keunggulan simulasi cepat dan akurat (Amrullah et al., 2023; Lee et al., 2017). Terdiri dari PSIM Schematic, PSIM Simulator, dan SIMVIEW, perangkat ini mendukung perancangan sistem kendali motor DC secara efisien dan aman (Chaudhry & Kumar, 2019).

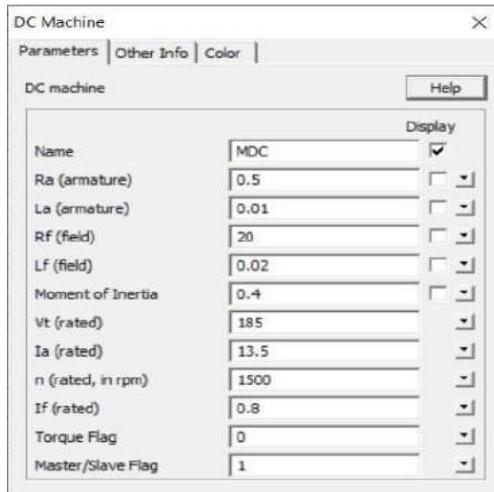


Gambar 1. PSIM block diagram

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Parameter Motor DC

Dalam studi ini, penulis memperoleh parameter motor DC dari referensi daring dan pelat nama motor DC CHINA ELECTRIC (Hangzhou New Hengli Electric Machine MFG. Co., Ltd., n.d.). Pelat nama tersebut menyediakan spesifikasi teknis utama yang krusial untuk memastikan pengoperasian motor yang aman dan efisien, serta mendukung keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Data yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam pengaturan parameter motor DC di PSIM, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5. Identifikasi dan verifikasi yang akurat terhadap parameter-parameter ini sangat penting untuk merancang sistem kontrol yang andal yang meminimalkan kegagalan mekanis dan meningkatkan keselamatan pekerja.



Gambar 2. Parameter Motor DC

3.2 Gelombang penuh terkendali

Penyearah terkendali penuh satu fasa berfungsi sebagai sumber DC dan pengendali kecepatan motor DC tiga fasa. Tegangan AC 220 V dikonversi menjadi DC, dengan besar tegangan dipengaruhi oleh sudut penyalaan melalui Gating Block di PSIM. Sistem ini menjaga kestabilan kecepatan motor dan efisiensi, serta mengurangi risiko kegagalan yang membahayakan keselamatan kerja.

Pengukuran dilakukan di PSIM terhadap V_a , I_a , dan kecepatan motor (N), dengan torsi beban 0 Nm, 1 Nm, dan 2 Nm. Hasilnya disajikan pada tabel berikut:

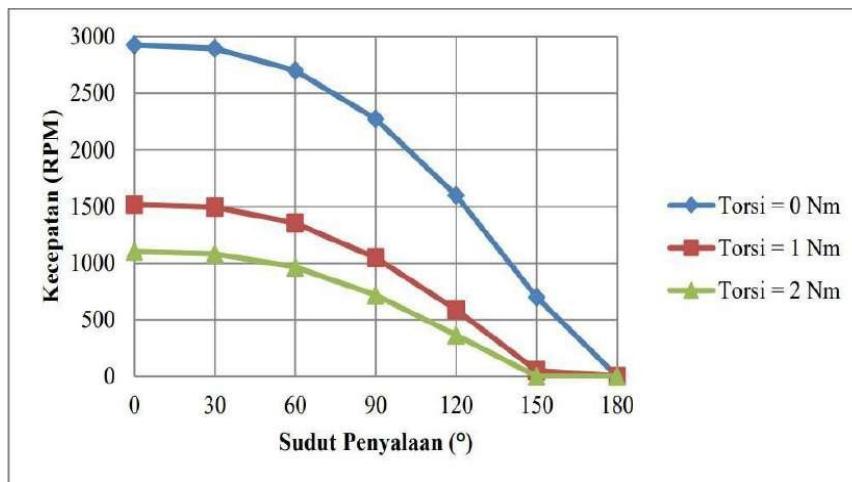
Tabel 1. Hasil pengukuran PSIM

Torsi (Nm)	Sudut tegangan jangkar	Tegangan Jangkar (V_a) (Volts)	Arus Jangkar (I_a) (Ampere)	Kecepatan rotasi (RPM)
0	0	184.64	0.65	2927.94
0	30	172.14	0.61	2895.25
0	60	137.64	0.52	2701.85
0	90	90.48	0.41	2271.98
1	0	177.2	1.01	1517.92
1	30	165.06	0.95	1493.72
1	60	131.32	0.95	1353.75
2	0	174.7	1.13	1103.95
2	30	162.65	1.07	1083.02

3.3 Karakteristik Fungsi Sudut Penyalaan terhadap Kecepatan Putar Motor

Kecepatan putar motor DC dikendalikan melalui thyristor dengan mengatur sudut penyalaan (α). Grafik berikut menunjukkan karakteristik hubungan antara sudut penyalaan (α) dan kecepatan putar motor (N) pada motor DC tiga fasa. Grafik ini menggambarkan bahwa semakin besar sudut penyalaan, kecepatan motor menurun secara bertahap,

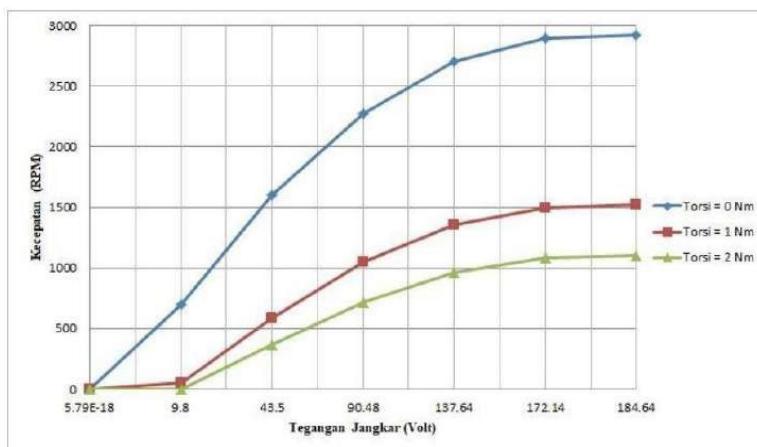
menunjukkan kontrol yang efektif terhadap output motor melalui pengaturan sudut penyalaan.



Gambar 3. Fungsi Sudut Penyalaan terhadap Kecepatan Putar Motor

3.4 Karakteristik Fungsi Tegangan Jangkar terhadap Kecepatan Putaran Motor

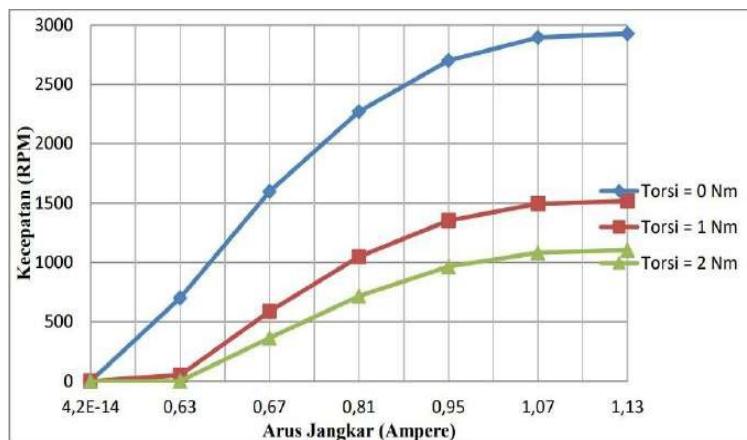
Ketika sudut penyalaan (α) diperbesar, tegangan jangkar (V_a) akan menurun. Sebaliknya, peningkatan tegangan jangkar (V_a) akan menyebabkan kecepatan putar motor DC meningkat. Hal ini menunjukkan adanya hubungan langsung antara tegangan jangkar dan kecepatan motor, yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pengendalian motor untuk menjamin operasi yang aman dan efisien.



Gambar 4. Fungsi Tegangan Jangkar terhadap Kecepatan Putaran Motor

3.5 Karakteristik Fungsi Arus Jangkar terhadap Kecepatan Putaran Motor

Arus jangkar (I_a) juga menunjukkan hubungan langsung dengan kecepatan putar motor DC. Saat sudut penyalaan (α) diperbesar, arus jangkar (I_a) meningkat, yang selanjutnya meningkatkan kecepatan motor. Pemahaman ini penting untuk pengaturan beban yang aman dan mencegah arus lebih yang dapat merusak sistem atau mengancam keselamatan operasional (D3).



Gambar 5. Fungsi Arus Jangkar terhadap Kecepatan Putaran Motor

3.6 Diskusi

Data pengukuran menunjukkan bahwa sudut penyalaan (α) berbanding terbalik dengan kecepatan putar motor DC tiga fasa. Artinya, semakin besar sudut penyalaan pada thyristor, semakin rendah kecepatan motor. Sebaliknya, tegangan jangkar dan arus jangkar memiliki hubungan langsung dengan kecepatan motor. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan sudut penyalaan efektif untuk mengontrol kecepatan motor sesuai kebutuhan aplikasi.

Penurunan kecepatan motor seiring peningkatan torsi juga diamati, yang penting dalam konteks Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Motor yang bekerja dengan beban berat atau pengaturan kecepatan yang kurang tepat berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan. Oleh karena itu, sistem pengendalian yang tepat sangat diperlukan untuk menjaga keselamatan pekerja dan efisiensi energi di lingkungan industri.

Selain itu, hasil uji coba memperlihatkan bahwa motor mampu beroperasi mendekati kecepatan nominalnya (1517,92 RPM dari 1500 RPM) dengan deviasi yang sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol memiliki kinerja yang stabil dan responsif. Dari sisi efisiensi, penggunaan penyearah terkendali penuh memungkinkan konsumsi energi yang lebih optimal, karena daya yang disalurkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban tanpa pemborosan energi berlebih. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan

performa motor tetapi juga mendukung efisiensi energi serta menjaga keandalan operasi industri.

SIMPULAN

Perangkat lunak simulasi PSIM terbukti efektif membantu perencanaan sistem guna mencegah kerugian akibat kegagalan desain. Penggunaan PSIM memungkinkan desain yang lebih aman dan efisien dalam aplikasi industri, dengan mempertimbangkan faktor keselamatan operasional motor dan sistem kontrol.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini menggunakan sistem penyearah terkendali penuh untuk mengatur kecepatan motor DC tiga fasa dengan cara mengubah sudut penyalaan thyristor. Pendekatan ini sangat relevan dalam konteks Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), karena regulasi kecepatan yang presisi dapat meminimalkan risiko kecelakaan akibat pengoperasian motor dengan kecepatan yang tidak terkendali atau tidak sesuai standar keselamatan. Sistem kontrol yang lebih presisi juga mengurangi potensi kerusakan mekanik atau listrik yang membahayakan pekerja, menjaga integritas sistem, serta meningkatkan efisiensi operasional.

Pada eksperimen, motor dengan spesifikasi kecepatan 1500 RPM diuji dengan beban torsi 1 Nm dan sudut penyalaan 0° . Hasil menunjukkan bahwa pengaturan sudut penyalaan yang tepat mampu mengontrol kecepatan motor dengan baik, mencapai kecepatan terukur 1517,92 RPM. Ini membuktikan bahwa penyearah terkendali penuh memungkinkan penyesuaian kecepatan motor sesuai kebutuhan aplikasi industri yang mengutamakan efisiensi energi dan keselamatan operasional.

Selain itu, peningkatan beban torsi menyebabkan penurunan kecepatan motor, yang penting diperhatikan dalam desain sistem kontrol untuk mencegah kegagalan sistem akibat beban berlebih yang tidak terkontrol. Oleh karena itu, penggunaan sistem kontrol yang mampu menyesuaikan kecepatan motor dengan beban secara cermat dapat meningkatkan tingkat keselamatan di lingkungan industri.

Pengembangan sistem kontrol motor berbasis PSIM ini memberikan kontribusi signifikan dalam peningkatan keselamatan dan efisiensi energi pada sistem kendali mesin industri serta mendukung pencapaian standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- M. Ali, T. Khan, dan M. Ahmed, "Application of controlled rectifiers in DC motor speed control," *IEEE Transactions on Industrial Applications*, vol. 56, no. 3, pp. 1341–1349, 2020.
- A. T. Nugraha, H. A. Widodo, D. S. A. Pambudi, L. Cahyono, M. Apriani, A. P. Utomo, D. Priyambodo, M. D. H. Putra, dan R. Febrianto, "PORTABLE – 2WG" INOVASI TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK PORTABLE AIR DAN ANGIN UNTUK KEBUTUHAN RUMAH TANGGA PADA PENDUDUK DAERAH ALIRAN SUNGAI, Deepublish, 2022.
- E. Soeprijanto, E. Haryanto, dan R. Handayani, "Optimization of DC motor control for improving industrial machine safety," *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 13, no. 5, pp. 2387–2396, 2021.
- J. Lee, S. Kim, dan H. Park, "Thyristor-based rectifiers in the speed regulation of industrial DC motors," *Journal of Electrical Power Systems*, vol. 18, no. 3, pp. 229–238, 2017.
- Y. Chien, J. Chen, dan L. Lin, "Improving safety and efficiency in industrial motor control systems," *Journal of Safety Engineering*, vol. 29, no. 2, pp. 45–52, 2015.
- T. A. Nugraha, *Konsep Dasar Elektronika Daya*, Deepublish, 2022.
- S. Hadi, S. Darmadi, dan A. Wibowo, "Design of a fully controlled rectifier system for industrial applications," *International Journal of Engineering Research*, vol. 12, no. 4, pp. 67–75, 2019.
- A. Chaudhry dan R. Kumar, "Application of PSIM software in the simulation of motor control systems," *International Journal of Power Electronics*, vol. 5, no. 4, pp. 300–307, 2019.
- Hangzhou New Hengli Electric Machine MFG. Co., Ltd., "Motor Manufacturer, Electric Motor, DC Motor Supplier," *Made-in-China.com*. [Online]. Available: <https://cnhldj.en.made-in-china.com/>. [Accessed: Aug. 19, 2025].
- D. Almunawar, et al., "Perancangan Sistem Pendukung Keputusan Mesin e-Fill Berbasis ANFIS," *COMPLETE-Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication*, vol. 5, no. 1, 2024.
- R. Kumar, S. Singh, dan N. Gupta, "Improved methods for rectifier based motor control," *Energy Conversion and Management*, vol. 112, pp. 129–137, 2016.
- F. Yahya Saputra, et al., "Efficiency Of Generator Set On Changes In Electrical Load On Fishery Vessels," *MEIN: Journal of Mechanical, Electrical & Industrial Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 1–4, 2024.
- W. Zhang, Y. Liu, dan L. Zhang, "Advanced methods in motor speed regulation for industrial safety," *Journal of Control Engineering*, vol. 26, no. 6, pp. 1001–1013, 2018.
- A. Khan, M. Sharif, dan S. Ahmad, "Energy-efficient motor control systems in industrial applications," *Energy Efficiency*, vol. 11, no. 1, pp. 15–23, 2018.
- A. Rahman, et al., "Application of Ant Colony Optimization Algorithm in Determining PID Parameters in AC Motor Control," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 2, pp. 538–549, 2024.
- N. D. Pangestu, et al., "PERANCANGAN SMART PROTECTION PADA MOTOR KINCIR AERATOR TAMBAK UDANG MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY," *Jurnal 7 Samudra*, vol. 9, no. 1, pp. 1–8, 2024.
- M. Amrullah, et al., "RANCANG BANGUN MONITORING KUALITAS AIR TAMBAK UDANG VANAME DENGAN KONTROL PADDLE WHEEL BERBASIS MIKROKONTROLLER," *Jurnal 7 Samudra*, vol. 8, no. 2, pp. 117–122, 2023.
- M. Mu'in, et al., "ANALISIS ALIRAN DAYA DAN CAPASITOR PLACEMENT PADA SISTEM KELISTRIKAN PT BLAMBANGAN BAHARI SHIPYARD DENGAN SOFTWARE ETAP," *Jurnal 7 Samudra*, vol. 8, no. 1, 2023.

- A. Brown, V. Patel, dan R. Edwards, "The role of safety measures in industrial motor control systems," *Safety Science*, vol. 132, pp. 44–52, 2020.
- A. Fauzi, et al., "Performance of Permanent Magnet Synchronous Generator (pmsg) 3 Phase Radial Flux Results Modification of Induction Motor," *MEIN: Journal of Mechanical, Electrical & Industrial Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 5–11, 2024.
- E. Hidayana, et al., "UTILIZATION OF BAGASSE WASTE FOR BIO-OIL EXTRACTION FROM SUGARCANE JUICE VENDORS IN BANYUWANGI REGENCY," *Jurnal Cakrawala Maritim*, vol. 7, no. 1, pp. 43–51, 2024.