

ID: 12

Simulasi Pengendali Kecepatan Motor DC Seri Dengan Menggunakan Penyearah Terkendali Penuh Berbasis PSIM

Simulation of Series DC Motor Speed Control Using PSIM Based Fully Controlled Rectifier

Ahmad Yusuf¹, Ihsan Prima Faza², Toto Tohir^{3*}

^{1,2,3}Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Telp.(022) 2013789 Fax. (022) 2013889

ahmad.yusuf.tlis19 @polban.ac.id¹, ihsan.prima.tlis19@polban.ac.id², toto.tohir@polban.ac.id³

Abstrak – Perkembangan teknologi motor DC telah berkembang dan banyak digunakan di berbagai bidang. Saat ini banyak yang menggunakan autotrafo untuk mengendalikan kecepatan motor DC. Pengaturan dengan autotrafo memiliki berbagai kelemahan, diantaranya dari segi ekonomis, saat autotrafo mengalami kerusakan maka untuk mendapatkan komponen yang baru akan kesulitan dikarenakan harganya yang mahal. Secara fisik peralatan tersebut kurang praktis dan untuk pengaturan tegangan jangkar memiliki efisiensi yang rendah. Maka dari itu dibutuhkan alat pengendali kecepatan motor DC penguat seri yang lebih praktis dan ekonomis. Dengan software PSIM kita bisa merencanakan sebuah sistem untuk membuat alat pengendali kecepatan motor DC penguat seri yaitu membuat sistem penyearah terkendali penuh dengan menggunakan thyristor. Simulasi menggunakan PSIM mempermudah dalam perancangan sistem di lapangan dan dapat menghemat banyak hal, seperti waktu, tenaga, biaya serta resiko saat terjadi kegagalan. Untuk mencari parameter motor DC penguat seri penulis melakukan kajian literatur. Setelah didapatkan parameter motor DC penguat seri maka dilakukan simulasi tanpa rangkaian penyearah untuk menguji parameter motor. Apabila telah sesuai maka motor DC penguat seri ditambahkan rangkaian penyearah terkendali penuh, setelah itu dilakukan pengaturan sudut penyalaaan. Kemudian memulai simulasi untuk melihat nilai kecepatan motor DC penguat seri. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa semakin besar sudut penyalaaan maka kecepatan motor DC penguat seri semakin meningkat contohnya pada saat $T = 0$ Nm diberi sudut penyalaaan 0^0 maka tegangan DC yang dihasilkan sebesar 184,64 volt dengan kecepatan 2927,94 RPM. Pengaturan kecepatan motor DC penguat seri dengan penyearah terkendali penuh dipakai untuk sistem dengan kecepatan motor yang nilainya lebih kecil dari kecepatan maksimum.

Kata Kunci: Pengendali kecepatan, motor DC penguat seri, Penyearah terkendali penuh, PSIM.

Abstract – The development of DC motor technology has developed and is widely used in various fields. Currently, many use autotransformers to control the speed of DC motors. Arrangements with autotransformers have various weaknesses, including in terms of economy, when the autotransformer is damaged, it will be difficult to get new components due to the high price. Physically the equipment is less practical and for regulating the armature voltage it has low efficiency. Therefore, a series amplifier DC motor speed controller is needed which is more practical and economical. With PSIM software, we can plan a system to make a series amplifier DC motor speed controller, which is to make a fully controlled rectifier system using a thyristor. Simulation using PSIM simplifies system design in the field and can save many things, such as time, effort, cost and risk in the event of a failure. To find the parameters of the DC motor in series amplifier, the writer conducted a literature review. After obtaining the parameters of the DC motor in series, a simulation is carried out without a rectifier circuit to test the motor parameters. If it is appropriate, the series amplifier DC motor is added with a fully controlled rectifier circuit, after which the ignition angle is adjusted. Then start the simulation to see the value of the DC motor speed in the series amplifier. This study found that the greater the angle of ignition, the speed of the DC motor in the series amplifier increases, for example, when $T = 0$ Nm is given an ignition angle of 0^0 , the DC voltage generated

is 184.64 volts with a speed of 2927.94 RPM. DC motor speed regulation series amplifier with fully controlled rectifier is used for systems where the motor speed is less than the maximum speed.

Keywords: Speed controller, series amplifier DC motor, Fully controlled rectifier, PSIM.

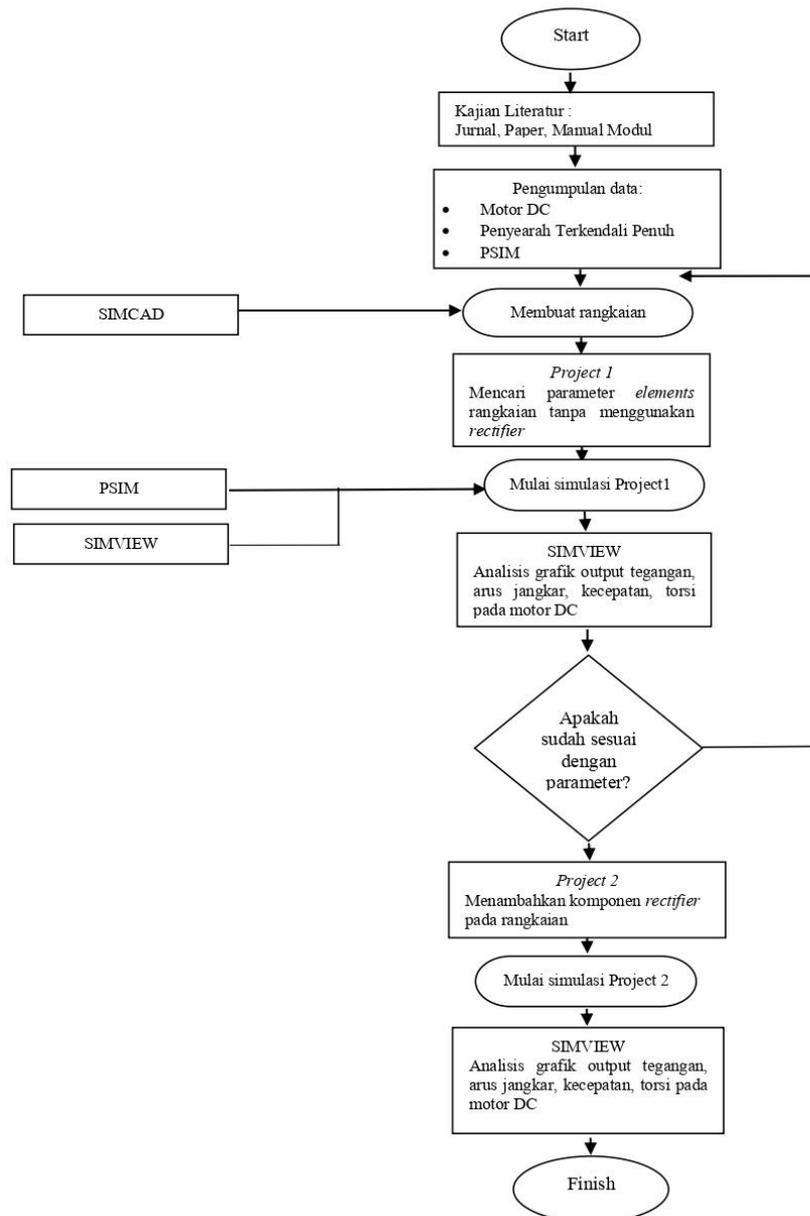
1. Pendahuluan

Pelaksanaan sistem listrik di lapangan tidak cukup hanya menggunakan analisis rangkaian listrik semata, tetapi sering terkait dengan bidang-bidang yang lain seperti sistem mekanis, sistem *thermal*, dan sistem kendali. Oleh karena itu, tahap perencanaan memerlukan kajian dari berbagai ranah dalam rangka mencari alternatif-alternatif baru maupun memperbaiki sistem yang sudah ada. Langkah akhir dalam perencanaan adalah melakukan simulasi. Simulasi ini sangat membantu karena dapat menghemat banyak hal, seperti waktu, tenaga, biaya serta resiko yang dihadapi jika terjadi kegagalan. Sekarang ini, banyak sekali software yang menawarkan program simulasi, salah satunya adalah PSIM. SIMVIEW pada PSIM mampu membuat sistem dengan sangat sederhana, cepat, mudah, dan efisien [1].

Makalah ini membahas simulasi pengendali kecepatan motor DC dengan menggunakan penyearah terkendali penuh. Simulasi dilakukan dengan software PSIM 9.1, yaitu dengan PSIM dan SIMVIEW. Kecepatan motor DC diatur berdasarkan pengaturan tegangan jangkar menggunakan penyearah terkendali penuh. Simulasi ini akan mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap kecepatan motor.

2. Metode Penelitian

Gambar 1, dibawah ini merupakan diagram alir penelitian dengan melakukan kajian literatur terlebih dahulu untuk memperdalam pemahaman terkait dengan penelitian tentang motor DC, penyearah terkendali penuh yang berasal dari sumber referensi berupa jurnal, paper dan manual modul. Kemudian mengumpulkan data parameter dari komponen motor DC dan *rectifier*. Jika tidak sesuai maka kembali ketahapan pencarian parameter tiap elemen pada rangkaian. Kemudian saat parameter telah sesuai maka lanjut ke tahap membuat rangkaian penyearah terkendali penuh menggunakan PSIM. Setelah membuat rangkaian dan memasukan parameter maka dilakukan *run simulation* dan melihat grafik pada Simview. Setelah melakukan penelitian, dibuatlah laporan hasil penelitian. Penelitian ini dibuat sebagai suatu kemudahan untuk merancang suatu sistem penyearah terkendali penuh terhadap motor DC agar dapat meminimalisir keasalahan pada saat perancangan yang akan dilakukan di lapangan, sehingga menggunakan software PSIM.



Gambar 1. Diagram Alir Peneletian.

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai simulasi pengendali motor DC dengan penyearah terkendali penuh telah banyak diteliti sebelumnya. Jurnal dan penelitian yang membahas kemiripan teori maupun subjek penelitian dijadikan sebagai acuan dalam penelitian ini. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang membahas pengendali motor DC dengan penyearah terkendali penuh.

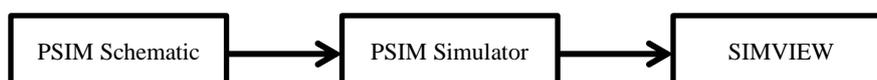
Pertama, penelitian yang dilakukan oleh Ikhsan Hidayat (2004) dalam jurnal TELKOMNIKA Volume 2, Nomor 1. Beliau meneliti tentang simulasi pengendali kecepatan motor DC dengan penyearah terkendali semi konverter berbasis matlab/simulink. Hasil penelitian ini ditemukan bahwa Software simulasi seperti Simulink dalam Matlab dapat membantu proses perencanaan sistem dan pengaturan kecepatan motor DC dengan penyearah terkendali gelombang penuh semi konverter untuk sistem yang memerlukan kecepatan konstan.

kedua, penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Hamzah Abdurrahman As-Salaf (2021) dalam jurnal MIND Volume 6, Nomor 1. Beliau meneliti tentang simulasi pengendali kecepatan motor BLDC dengan penyearah terkendali semi konverter berbasis PSIM. Hasil penelitian ini ditemukan bahwa pada pengaturan kecepatan, sinyal referensi diubah pada bagian rangkaian kontrol dengan nilai 500, 750, 1000, 1250 dan 1500. Hasilnya dimana kecepatan motor BLDC akan mengikuti sebagaimana yang di inputkan pada rangkaian kontrol.

Persamaan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini dibuat sebagai suatu kemudahan dalam proses perencanaan sistem penyearah terkendali penuh terhadap motor DC menggunakan software. Perbedaan penelitian yang dilakukan terletak pada software yang digunakan dalam mensimulasikan sistem dan jenis motor DC yang digunakan.

2.1.1. PSIM

PSIM merupakan perangkat lunak simulasi yang dirancang khusus untuk elektronika daya, penggerak motor dan sistem konversi daya. Proses simulasi yang cepat pada PSIM menyediakan simulasi yang kuat untuk memenuhi kebutuhan simulasi dan pengembangan. PSIM terdiri dari schematic program PSIM (PSIM Schematic), simulation engine (PSIM Simulator), dan waveform processing program (SIMVIEW) [2].



Gambar 2. Proses kerja PSIM [2].

2.1.2. Pengertian Dasar Motor DC

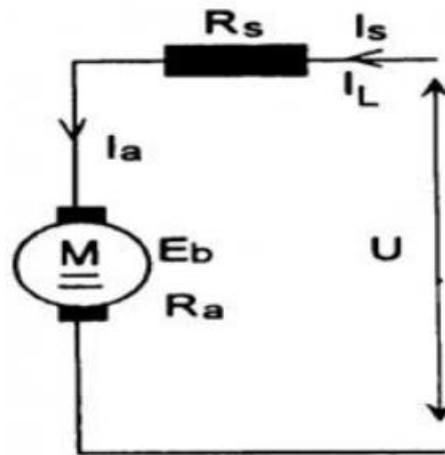
Motor DC disuplai oleh tegangan searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Dalam motor DC terdiri atas dua kumparan yaitu kumparan medan yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet dan kumparan jangkar yang berfungsi sebagai tempat terbentuknya gaya gerak listrik (ggl). Jika arus dalam kumparan jangkar berinteraksi dengan medan magnet, maka akan timbul torsi (T) yang akan memutar motor [3].

2.1.3. Motor Arus Searah Berpenguat Sendiri

Motor DC dengan penguat sendiri (self excited) adalah motor DC yang arus kumparan medan disuplai dari sumber arus DC yang sama dengan arus yang digunakan pada kumparan jangkar. Berdasarkan cara menghubungkan kumparan medan dan kumparan jangkar, secara umum motor DC diklasifikasi dalam 3 macam, yaitu : 1) Motor arus searah berpenguat shunt (paralel). 2) Motor arus searah berpenguat seri. 3) Motor arus searah berpenguat kompon [3].

2.1.4. Motor Arus Searah Berpenguat Seri

Motor DC penguat sendiri seri adalah motor DC dimana tahanan medan dan tahanan jangkar dihubungkan secara seri. Motor DC penguat sendiri seri identik dengan kecepatan rotasi yang tidak konstan dimana saat beban yang diberikan besar, maka kecepatan rotasi motor akan kecil, namun sebaliknya bila beban yang diberikan kecil, maka kecepatan rotasi motor akan besar. Berikut adalah gambar rangkaian motor DC seri [4].



Gambar 3. Rangkaian ekivalen motor DC penguat sendiri seri [5].

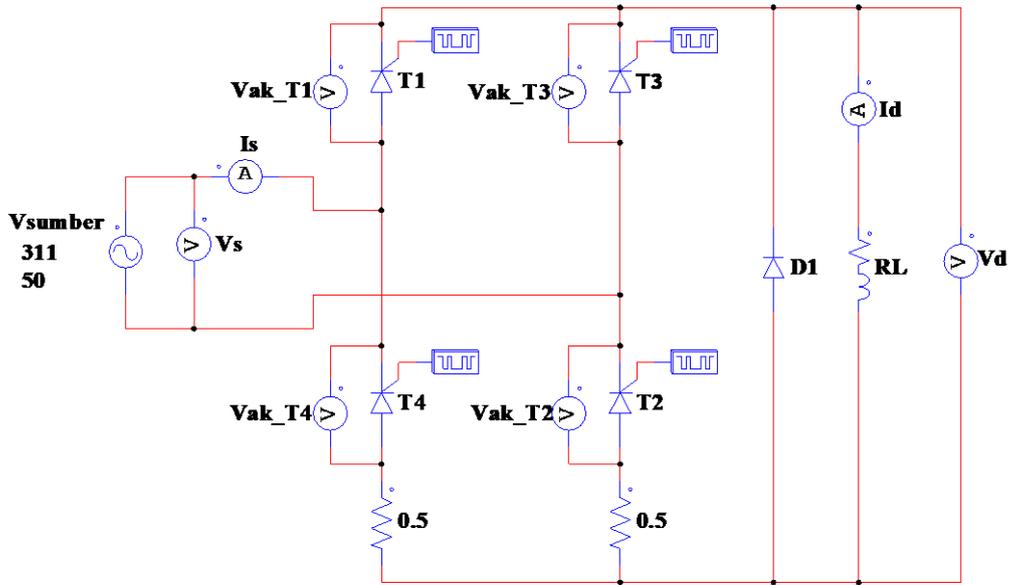
2.1.5. Penyearah (Rectifier)

Rectifier adalah alat yang digunakan untuk mengubah tipe tegangan yang awal mulanya sumber arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal sumber arus searah (DC). Gelombang AC yang berbentuk gelombang sinus dan gelombang DC yang berbentuk gelombang *steady state* hanya dapat dilihat dengan alat ukur CRO. Rangkaian rectifier banyak menggunakan transformator step down yang digunakan untuk menurunkan tegangan sesuai dengan perbandingan transformasi transformator yang digunakan [6].

2.1.6. Perancangan Rangkaian Penyearah Satu Fasa

Penyearah satu fasa terkendali penuh digunakan sebagai catu daya DC sekaligus pengendali kecepatan untuk motor arus searah. Pada perancangan penyearah satu fasa terkendali penuh menggunakan komponen SCR. Untuk mengaktifkan rangkaian penyearah, pada SCR perlu diberikan pemicu berupa tegangan positif diantara terminal gate dan katoda. Pemicuan harus diberikan pada satu pasang SCR (T1,T2 dan T3,T4) pada waktu yang sama sehingga penyearah satu fasa terkendali penuh dapat bekerja. Gambar .4 akan menunjukkan rangkaian penyearah satu fasa terkendali penuh [7].

Untuk melindungi rangkaian penyearah dari arus sisa pada beban induktif dapat memasang sebuah dioda freewheeling yang terpasang paralel dengan rangkaian penyearah. Dioda freewheeling digunakan sebagai perlindungan rangkaian penyearah terhadap adanya arus sisa dari beban induktif. Ketika suplai tegangan pada rangkaian daya dimatikan maka pada beban induktif masih terdapat tegangan pada belitan sebesar $L \frac{di}{dt}$, sehingga arus sisa akan mengalir ke rangkaian penyearah, jika komponen rangkaian penyearah tidak mampu menahan arus sisa maka akan terjadi kerusakan pada komponen rangkaian penyearah. Pemasangan dioda freewheeling akan mengakibatkan arus sisa yang mengalir dari beban induktif hanya akan mengalir pada sisi dioda freewheeling saja sehingga tidak ada arus sisa yang mengalir menuju rangkaian daya [7].

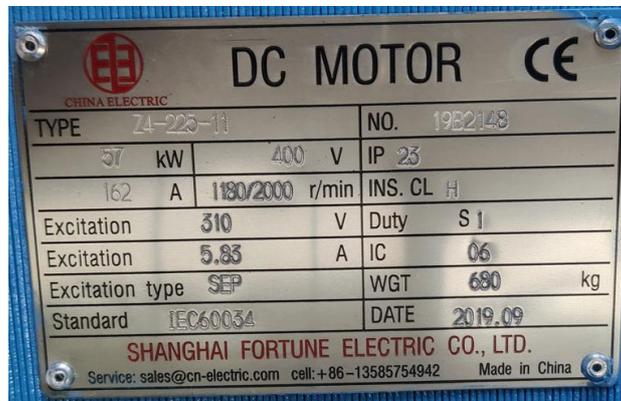


Gambar 4. Rangkaian penyearah satu fasa jembatan terkontrol penuh.

3. Hasil dan Pembahasan

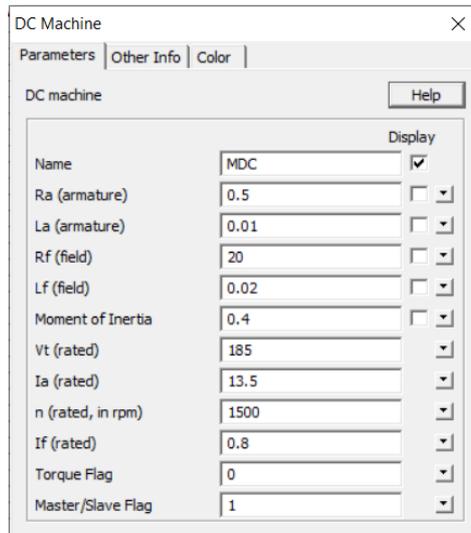
3.1. Penentuan Parameter Motor DC

Pada penelitian ini penulis mencari referensi parameter motor DC di internet dan dipatkan *nameplate* motor DC dengan merek CHINA ELECTRIC yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Nameplate motor DC [8].

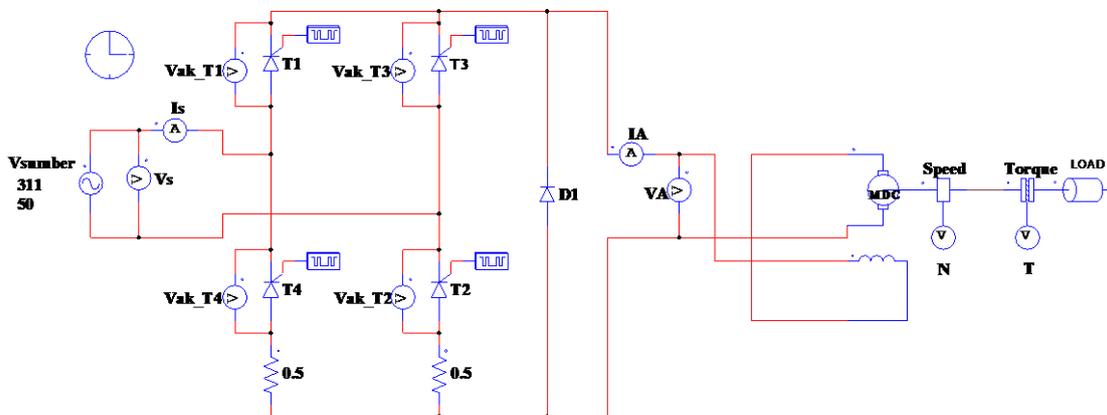
Setelah mendapatkan nameplate motor DC, penulis memasukan data nameplate motor DC pada parameter motor DC yang ada di PSIM. Berikut adalah parameter motor DC di PSIM yang bisa dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Parameter motor DC pada PSIM.

3.2. Perancangan Rangkaian Penyearah Terkendali Penuh dengan Motor DC Seri

Penyearah satu fasa terkendali penuh digunakan sebagai catu daya DC sekaligus pengendali kecepatan untuk motor DC dengan penguat sendiri seri. Tegangan AC yang digunakan adalah tegangan satu fasa 220 volt, kemudian tegangan tersebut akan disearahkan oleh rangkaian penyearah terkendali penuh. Tegangan DC yang dihasilkan tergantung pada sudut penyalan yang digunakan pada *Gating Block* di PSIM. Berikut adalah rangkaian penyearah terkendali penuh dengan motor DC penguat sendiri seri.



Gambar 7. Rangkaian motor DC penguat seri dengan penyearah terkendali penuh

3.3. Data Hasil Pengukuran

Setelah melakukan pengukuran dengan *software* PSIM, data pengukuran yang diamati adalah tegangan jangkar (V_a), arus jangkar (I_a) dan putaran motor DC penguat sendiri seri (N). Kemudian motor DC dibebani dengan beban torsi = 0 Nm, 1 Nm, dan 2 Nm. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil pengukuran dengan menggunakan Torsi = 0 Nm [9].

Sudut Penyalaan (°)	Torsi (Nm)	Tegangan Jangkar (Va) (Volt)	Arus Jangkar (Ia) (Ampere)	Putaran (RPM)
0	0	184.64	0.65	2927.94
30	0	172.14	0.61	2895.25
60	0	137.64	0.52	2701.85
90	0	90.48	0.41	2271.98
120	0	43.5	0.29	1597.77
150	0	9.8	0.16	700.38
180	0	5.79E-18	4E-14	0

Tabel 2. Hasil pengukuran dengan menggunakan Torsi = 1 Nm [9]

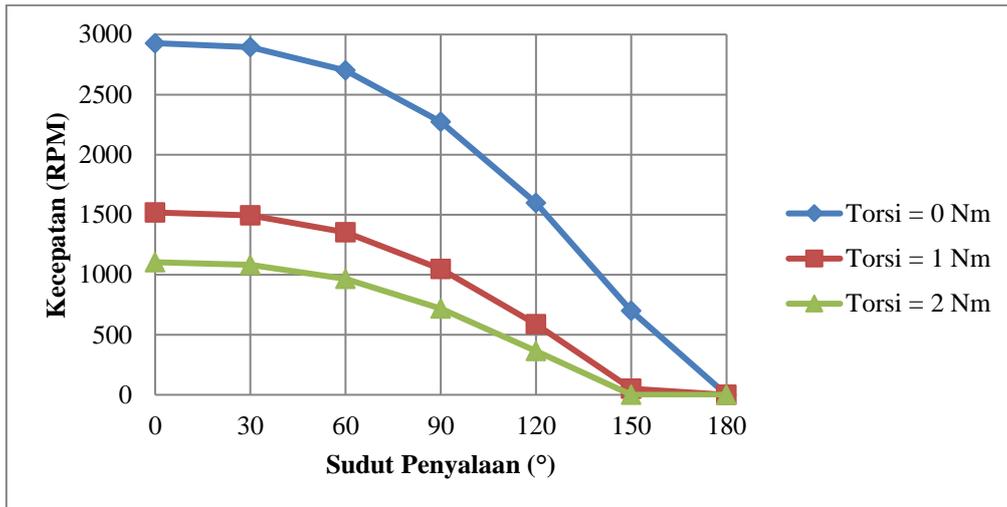
Sudut Penyalaan (°)	Torsi (Nm)	Tegangan Jangkar (Va) (Volt)	Arus Jangkar (Ia) (Ampere)	Putaran (RPM)
0	1	177.2	1.01	1517.92
30	1	165.06	0.95	1493.72
60	1	131.32	0.83	1353.75
90	1	84.9	0.68	1047.42
120	1	38.62	0.53	588.54
150	1	3.52	0.47	51.09
180	1	3.35E-17	8.8E-15	0

Tabel 3. Hasil pengukuran dengan menggunakan Torsi = 2 Nm [9].

Sudut Penyalaan (°)	Torsi (Nm)	Tegangan Jangkar (Va) (Volt)	Arus Jangkar (Ia) (Ampere)	Putaran (RPM)
0	2	174.7	1.13	1103.95
30	2	162.65	1.07	1083.02
60	2	128.93	0.95	965.7
90	2	82.4	0.81	717.06
120	2	35.62	0.67	363.95
150	2	0.32	0.63	0.0739
180	2	6.8E-18	4.2E-14	0

3.4. Karakteristik Fungsi Sudut Penyalaan Terhadap Kecepatan Putaran Motor

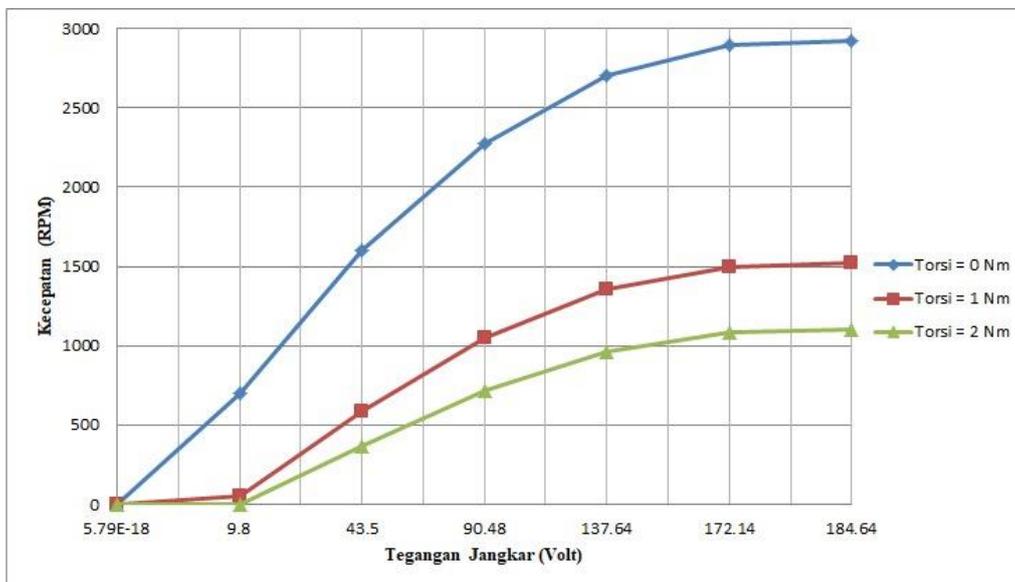
Kecepatan putaran motor DC penguat sendiri seri dikendalikan dengan menggunakan thyristor yaitu mengubah sudut penyalaan (α) dari thyristor. Pada penelitian ini menggunakan sudut penyalaan (α) sebagai berikut : 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° . Berikut merupakan grafik karakteristik sudut penyalaan(α) dari thyristor terhadap kecepatan (N) putaran motor DC.



Gambar 8. Grafik fungsi sudut penyalaan terhadap kecepatan putaran motor DC penguat sendiri seri.

3.5. Karakteristik Fungsi Tegangan Jangkar Terhadap Kecepatan Putaran Motor

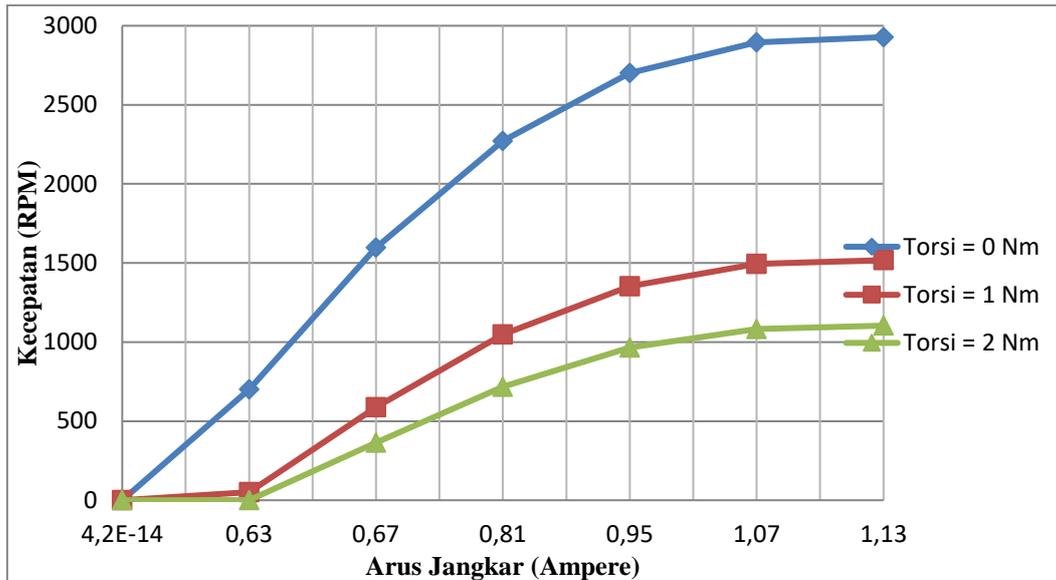
Pada saat sudut penyalaan (α) diperbesar maka tegangan jangkar (V_a) akan menurun. Ketika tegangan jangkar (V_a) pada sebuah motor DC semakin besar maka kecepatan putaran dari motor DC penguat sendiri seri akan semakin meningkat. Berikut merupakan grafik fungsi tegangan jangkar (V_a) terhadap kecepatan putaran (N) motor DC.



Gambar 9. Grafik fungsi tegangan jangkar terhadap kecepatan putaran motor DC penguat sendiri seri.

3.6. Karakteristik Fungsi Arus Jangkar Terhadap Kecepatan Putaran Motor

Pada saat sudut penyalaan (α) diperbesar maka arus jangkar (I_a) akan meningkat. Ketika arus jangkar (I_a) pada sebuah motor DC semakin besar maka kecepatan putaran dari motor DC penguat sendiri seri akan semakin meningkat. Berikut merupakan grafik fungsi arus jangkar (I_a) terhadap kecepatan putaran (N) motor DC.



Gambar 10. Grafik fungsi tegangan jangkar terhadap kecepatan putaran motor DC penguat sendiri seri.

3.7. Pembahasan

Data pengukuran yang diamati adalah tegangan jangkar (V_a), arus jangkar (I_a) dan putaran motor DC penguat sendiri seri (N). Kemudian motor DC dibebani dengan beban torsi = 0 Nm, 1 Nm, dan 2 Nm.

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa pengaruh sudut penyalan (α) berbanding terbalik dengan kecepatan putaran motor DC penguat seri sehingga semakin besar sudut penyalan (α) yang diberikan terhadap thyristor maka kecepatan putaran motor DC penguat sendiri seri akan semakin menurun. Pengaruh tegangan jangkar terhadap kecepatan putaran motor DC penguat seri berbanding lurus. Semakin besar tegangan jangkar maka kecepatan putaran dari motor DC penguat sendiri seri akan semakin meningkat. Sama halnya dengan tegangan jangkar, pengaruh arus jangkar terhadap kecepatan putaran motor DC penguat seri berbanding lurus. Semakin besar arus jangkar maka kecepatan putaran dari motor DC penguat sendiri seri akan semakin meningkat.

Dari hasil pengukuran telah mendapatkan nilai kecepatan putaran motor DC dari masing-masing sudut penyalan (α) dan torsi yang digunakan. Sehingga bisa disimpulkan bahwa semakin besar torsi beban yang ditanggung oleh motor maka kecepatan putaran motor DC penguat sendiri seri akan semakin menurun.

4. Kesimpulan

Software simulasi PSIM dapat membantu proses perencanaan sistem yang dapat mencegah kerugian apabila terjadi kegagalan pada saat perancangan suatu sistem. Untuk perkembangan dari penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya adalah pada penelitian ini menggunakan sistem penyearah terkendali penuh dimana untuk mengendalikan sebuah kecepatan motor DC yaitu dengan cara mengatur sudut penyalan pada thyristor. Pengaturan kecepatan motor DC penguat seri dengan penyearah terkendali penuh dipakai untuk sistem yang memerlukan kecepatan motor dengan nilai kecepatan yang lebih rendah dari spesifikasi pada motor DC penguat seri. Pada percobaan penulis menggunakan spesifikasi motor dengan kecepatan 1500 RPM, ketika diberi beban torsi = 1 Nm dengan sudut penyalan 0° didapatkan nilai kecepatan 1517.92 RPM. Besarnya kecepatan motor DC penguat seri dapat diperkecil nilai kecepatannya dengan memperbesar sudut penyalannya.

Ucapan Terima Kasih

Segala puji syukur dan terima kasih kami panjatkan ke hadirat Allah Azza Wa Jalla atas berkat dan rahmat-Nya yang telah melindungi dan membimbing sehingga kami dapat menyelesaikan penyusunan *paper* yang berjudul *Simulasi Pengendali Kecepatan Motor DC Seri Dengan Menggunakan Penyearah Terkendali Penuh Berbasis PSIM*.

Paper ini tidak akan terlaksana tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, dalam kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah *Azza Wa Jalla*, selaku Tuhan semesta alam yang telah memberikan ridha dan rahmatnya kepada kami semua dalam penyelesaian artikel ilmiah ini.
2. Tim Seminar Nasional Teknik Elektro 2021, untuk menerbitkan *paper* ini.

Referensi

- [1] I. Hidayat, "SIMULASI PENGENDALI KECEPATAN MOTOR DC DENGAN PENYEARAH TERKENDALI SEMI KONVERTER BERBASIS MATLAB/SIMULINK," *TELEKOMNIKA*, vol. 2, no. 1, pp. 41-48, 2004.
- [2] S. MUHAMMAD HAMZAH ABDURRAHMAN AS-SALAF, "Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Software PSIM," *MIND*, vol. 6, no. 1, pp. 103 - 117, 2021.
- [3] N. Nugroho and S. Agustina, "ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK," *Mikrotiga*, vol. 2, no. 1, pp. 28-34, 2015.
- [4] I. G. A. Gede, "KULIAH ELDAS," 29 April 2013. [Online]. Available: <https://blogs.itb.ac.id/el2244k0112211083igustiagunggede/2013/04/29/4/>. [Accessed 22 Oktober 2021].
- [5] admin, "Kelaspinter," 20 September 2021. [Online]. Available: <https://www.kelaspinter.com/prinsip-kerja-dan-jenis-jenis-motor-dc/>. [Accessed 22 Oktober 2021].
- [6] T. F. T. U. N. Yogyakarta, "Penyearah (Rectifier)," in *Teknik Dasar Rectifier dan Inverter*, Yogyakarta, Universitas Negeri Yogyakarta, 2003, p. 8.
- [7] A. B. Wibisino, T. Sukmadi and M. Facta, "PERANCANGAN PENYEARAH SATU FASE TERKONTROL PENUH SEBAGAI CATU DAYA MOTOR ARUS SEARAH PADA PROTOTYPE OVERHEAD CRANE MODE HOISTING," *TRANSIENT*, vol. 7, no. 1, 2018.
- [8] CHINA ELECTRIC, "CHINAELECTRIC.net," CHINA ELECTRIC, 1 November 2019. [Online]. Available: https://www.china-electric.net/z4-225-11_57_kw_1180_2000_rpm_z4-250-12_160_kw_1940_2400_rpm_extruder_dc_motors.html. [Accessed 22 Oktober 2021].
- [9] M. Sunarhati, "ANALISA PENGATURAN KECEPATAN PUTARAN MOTOR DC PENGUAT DENGAN MENGGUNAKAN THYRISTOR," *TEKNIK ELEKTRO*, vol. 8, no. 1, pp. 24-34, 2018.
- [10] M. J. Mustofa, "PERANCANGAN PENYEARAH TERKENDALI UNTUK PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC," *TEKNIK ELEKTRO*, pp. 1-2, 2021.