Jurnal J-Innovation Vol.12, No.2, Desember 2023
P-ISSN 2338-2082
E-ISSN 2808-5620

Desain dan Simulasi Rangkaian Pengatur Tegangan AC Enam Fasa Dengan Beban Resistif

Effendi[1], Fitriady[2]
[1,2] Program Studi Teknologi Elektronika, Politeknik Aceh
Jl. Politeknik Aceh, Banda Aceh, 23119
[1]effendi@politeknikaceh.ac.id, [2] fitriady@politeknikaceh.ac.id

ABSTRACT

Power electronics is a field that studies electronics applications related to electrical equipment that uses large amounts of power, one of the subjects that studied is AC to AC converters. AC voltage regulator is a converter where the output frequency is the same as the input frequency of the voltage sources, while the RMS output voltage can be regulated. In this research the number of phases that used are six phases, and two SCRs that used to chopper the AC voltage wave that arranged it in revers for each phase. The control circuit is constructed by using an op-amp which functions as a comparator and several other basic electronic components. the simulation results that using PSIM software for several delay angles including 30^o, 60^o, 90^o, 120^o, *and* 150^o *produce rms voltage that is relatively the same as the analysis by using mathematically calculations with a maximum voltage difference of 0.25 Volts, this difference is because the SCR gate delay angle is still done manually, In general, the design and simulation of the six-phase AC voltage regulator in this research can work in accordance with the theoretical concept.*

Keywords: *AC Voltage Regulator, SCR,* Comparator, *Six phases, Delay angle.*

ABSTRAK

Elektronika daya merupakan salah satu bidang yang mempelajari aplikasi elektronika yang berkaitan dengan peralatan listrik yang menggunakan daya-daya besar, salah satu meteri yang dipelajari yaitu konverter AC ke AC. AC Voltage regulator (pengatur tegangan AC) adalah salah satu konverter dimana frekuensi yang dihasilkan tetap sama dengan frekuensi input sumber tegangan, sementara besar tegangan output rms-nya dapat diatur, pada penelitian ini jumlah fasa yang digunakan sebanyak enam fasa dan menggunakan dua buah SCR yang digunakan untuk pemotongan gelombang tegangan AC dan disusun secara berkebalikan utuk setiap fasanya. Rangkaian kontrol dibangun dengan menggunakan op-amp yang difungsikan sebagai komparator dan beberapa komponen elektronika dasar lainnya. Hasil simulasi dengan menggunakan program PSIM untuk beberapa sudut pemotongan diantaranya 30^o, 60^o, 90^o, 120^o, dan 150^o menghasilkan tegangan rms yang relatif sama dengan analisis secara perhitungan matamatis dengan selisih tegangan maksimum sebesar 0,25 Volt, perbedaan ini dikarenakan pemotongan sudut tunda pada gate SCR masih dilakukan secara manual, secara umum desain dan simulasi pengatur tegangan AC enam fasa pada penelitian ini dapat bekerja sesuai dengan konsep teoritisnya .

Kata kunci: *AC Voltage Regulator,* SCR, Komparator, Enam Fasa, Sudut Tunda.

Jurnal J-Innovation Vol.12, No.2, Desember 2023
P-ISSN 2338-2082
E-ISSN 2808-5620

I. PENDAHULUAN

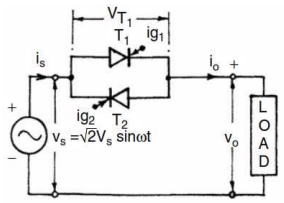
Elektronika daya merupakan salah satu bidang ilmu pengetahuan yang mempelajari dan membahas aplikasi elektronika yang berkaitan dengan peralatan Listrik yang menggunakan daya-daya besar seperti pemanas industri, pengatur kecepatan motor AC, DC dan beberapa aplikasi yang lainnya [1]–[6]. Salah satu materi yang dipelajari dalam bidang elektronika daya adalah konverter AC ke AC [1]–[4], [7].

Pada penelitian ini penulis mendisain dan mensimulasikan rangkaian pengatur tegangan AC enam fasa dengan menggunakan komponen elektronika berupa SCR dan beberapa komponen elektronika dasar lainnya.

Pengatur tegangan AC enam fasa pada penelitian ini secara umum berfungsi untuk mengubah tegangan sumber dalam bentuk AC dan menghasilkan tgangan output dalam bentuk AC dengan frekuensi yang tetap namun memiliki tegangan yang bervariasi.

II. METODE PENELITIAN

Konsep dasar rangkaian daya pengatur tegangan AC satu fasa ditunjukkan pada Gambar 1, dimana komponen yang digunakan berupa Thyristor (SCR) yang disusun secara parallel dan saling terbalik, SCR 1 (T_1) akan dikontrol pada saat sinyal berada pada sisi positif dengan menggunakan pulsa (sudut tunda) ig_1, sementara SCR 2 (T_2) akan digunakan untuk mengontrol tegangan pada sisi negatif dengan menggunakan pulsa ig_2 seperti ditunjukkan pada Gambar 2a. Output dari rangkaian ini dapat dilihat pada Gambar 2b, dimana sisi positif dan negatif memiliki bentuk gelombang yang simetris [1]–[4], [7], [8].

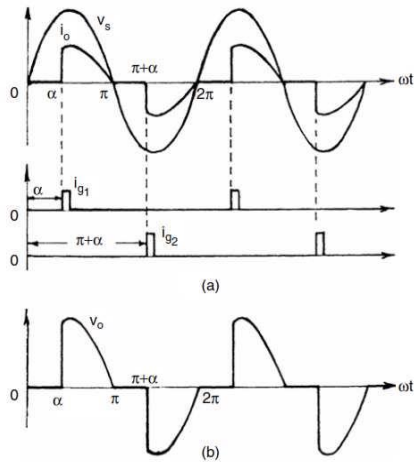


Gambar 1. Rangkaian daya satu fasa

Besar tegangan output pada Gambar 2b dapat dicari dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2), besar tegangan Vo dapat bervariasi dari Vs hingga 0 dengan cara mengatur sudut delay (α) dari 0 hingga π derajat [1]–[4], [7], [9].

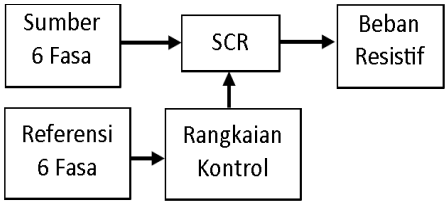
$$V_o = \left[\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} 2V_s^2 \sin^2\omega t \, d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$V_o = V_s\left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$



Gambar 2. a) Gelombang input dan pulsa sudut tunda, b) Gelombang output setelah pemotongan

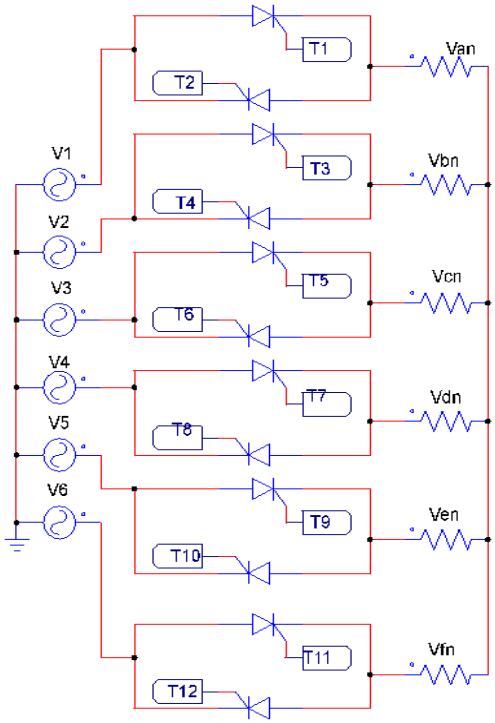
Pengatur tegangan AC enam fasa pada penelitian ini secara blok diagram dapat dilihat pada Gambar 3, dimana sumber tegangan enam fasa dikendalikan dengan menggunakan komponen elektronika berupa SCR, *gate* masing-masing SCR dapat dikendalikan dengan menggunakan titik referensi dari sumber tegangan enam fasa yang memiliki amplitude yang lebih kecil, rangkaian kontrol pada simulasi ini menggunakan komponen berupa komparator dan beberapa komponen elektronika lainnya, adapun beban yang digunakan pada penelitian ini bersifat resistif.



Gambar 3. Blok diagram sistem

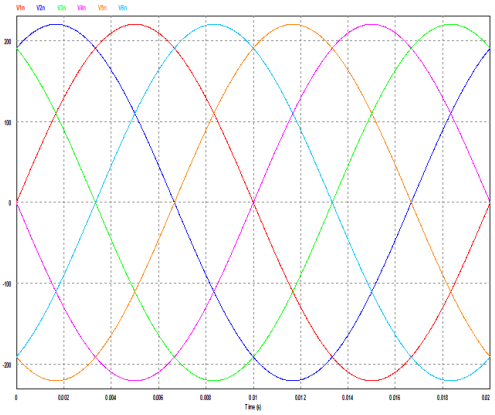
Rangkaian daya

Rangkaian daya pada penelitian ini menggunakan SCR sebanyak 12 buah yang dihubungkan dengan sumber tegangan enam fasa dan terhubung dengan beban resistif seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian daya enam fasa

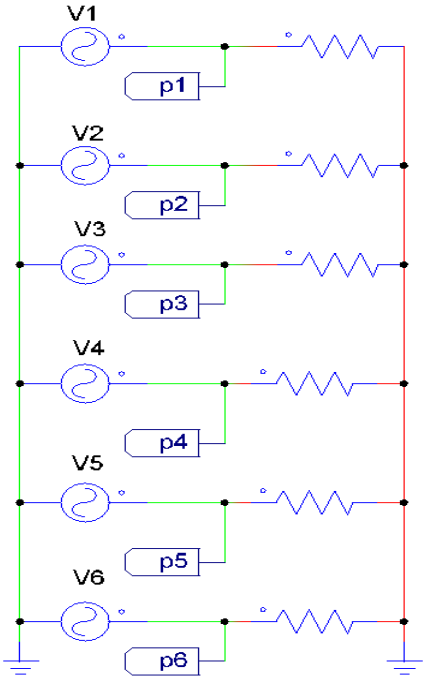
Bentuk gelombang sumber AC enam fasa yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 5, dimana masing-masing fasa terpisah dengan sudut 60^{o} satu dengan yang lainnya secara berurutan, dimana amplitudo yang digunakan sebesar 220 Volt terhadap netral.



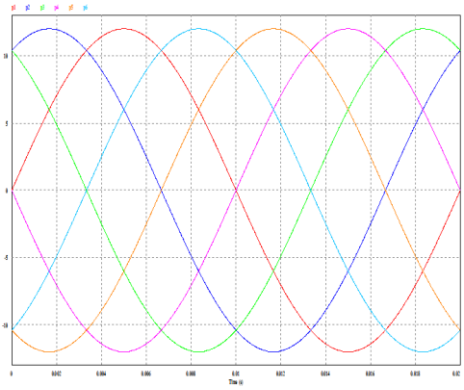
Gambar 5. Gelombang sumber AC enam fasa

Rangkaian Referensi

Rangkaian referensi yang digunakan pada penelitian ini disusun seperti pada Gambar 6 dimana amplitude masing-masing sumber tegangan yang digunakan sebesar 12 Volt serta memiliki frekuensi 50 Hz seperti ditunjukkan pada Gambar 7, selanjutnya dihubungkan dengan beban resistif sementara masing-masing sumber kemudian dihubungkan dengan dua buah komparator.

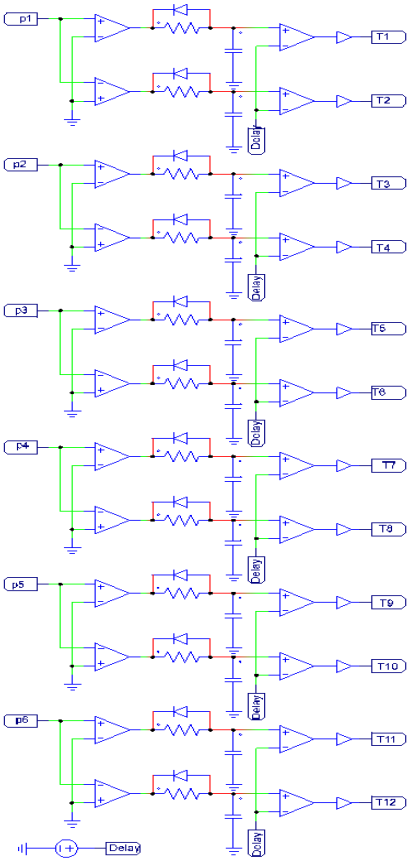


Gambar 6. Rangkaian referensi enam fasa



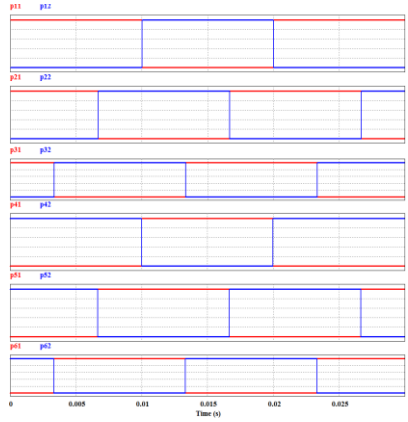
Gambar 7. Gelombang referensi enam fasa

Rangkaian Kontrol

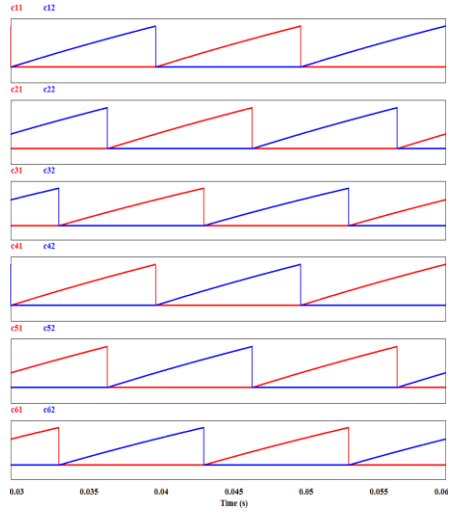


Gambar 8. Rangkaian triger *gate* SCR

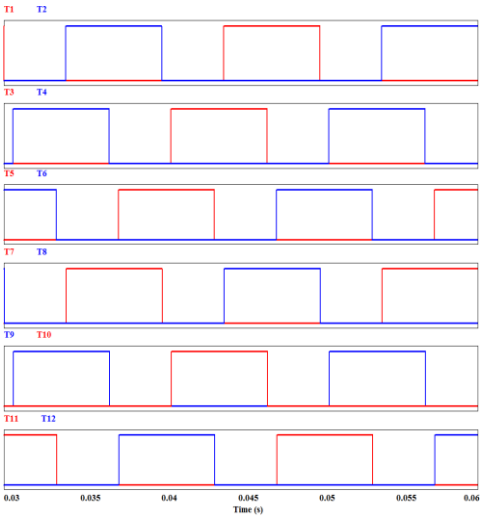
Rangkaian kontrol untuk mentriger masing-masing *gate* SCR ditunjukkan pada Gambar 8 dimana komponen yang digunakan berupa Op-amp yang difungsikan sebagai komparator untuk membandingkan tegangan referensi dengan *ground* output dari masing-masing komparator dapat dilihat pada Gambar 9, output komparator ini selanjutnya melewati resistor dan kapasitor untuk mendapatkan bentuk gelombang gigi gergaji seperti pada Gambar 10. Gelombang gigi gergaji ini selanjutnya dibandingkan dengan tegangan Delay, tegangan delay berfungsi untuk mengatur besar sudut triger SCR yang digunakan (sudut tunda), output dari komparator ini seperti pada Gambar 11 dimana pulsa ini selanjutnya dihubungkan dengan *gate* masing-masing SCR pada rangkaian daya [10].



Gambar 9. Gelombang output pada sisi komparator 1



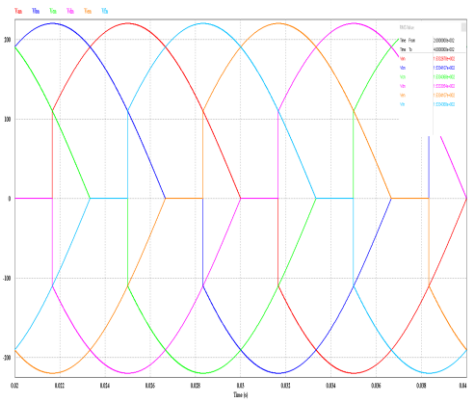
Gambar 10. Gelombang gigi gergaji dan V*delay*



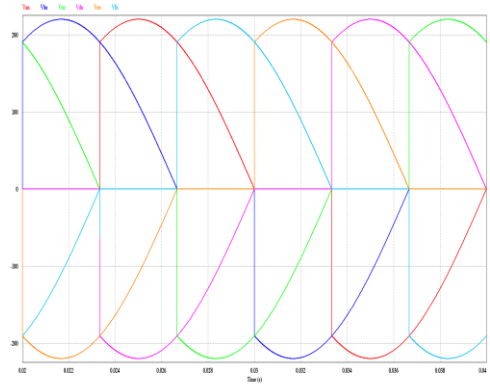
Gambar 11. Gelombang pulsa output komparator

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

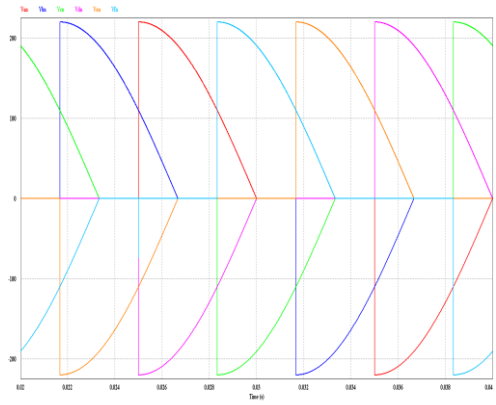
Pengujian rangkaian pada penelitian ini dilakukan secara simulasi dengan menggunakan bantuan komputer, adapun *software* yang digunakan yakni program P-SIM. Bentuk gelombang output yang dihasilkan pada beban resistif pada saat sudut pemotongan SCR (sudut delay) atau sudut tunda sebesar 30º, 60º, 90º, 120º, dan 150º dapat dilihat pada Gambar 12 hingga Gambar 16.



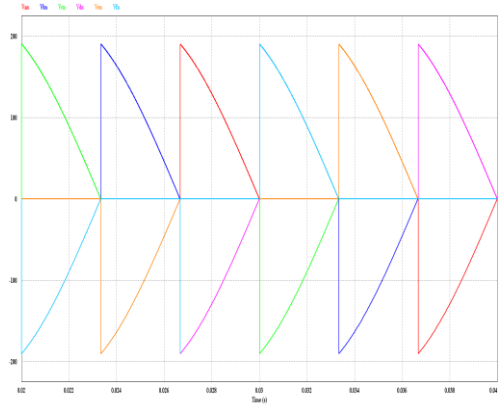
Gambar 12. Output dengan sudut delay 30º



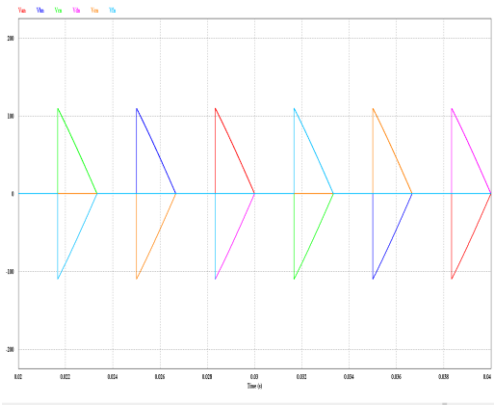
Gambar 13. Output dengan sudut delay 60º



Gambar 14. Output dengan sudut delay 90º



Gambar 15. Output dengan sudut delay 90º



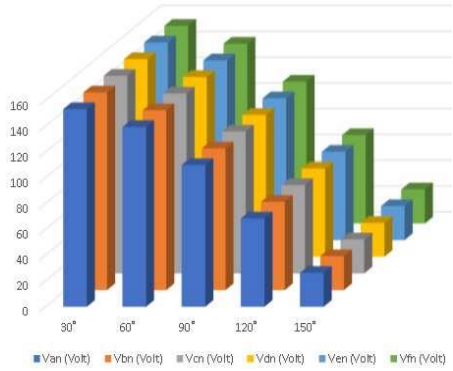
Gambar 16. Output dengan sudut delay 150º

Besar tegangan output rms hasil simulasi pada beban sesuai dengan sudut delay untuk masing-masing fasa dapat dilihat pada Tabel 1, sementara perbandingan tegangan secara grafik antara masing-masing fasa dapat dilihat pada Gambar 18.

Tabel 1. Tegangan output dan sudut delay

α	Van	Vbn	Vcn	Vdn	Ven	Vfn
30˚	153,33	153,34	153,34	153,33	153,34	153,34
60˚	139,48	139,48	139,51	139,49	139,48	139,51
90˚	109,97	109,99	110,02	110,00	109,99	110,02
120˚	68,51	68,55	68,57	68,51	68,55	68,57
150˚	26,35	26,37	26,38	26,35	26,37	26,38

Besar tegangan output rms rata-rata dari keenam fasa yang digunakan (V2) pada rangkaian pengatur tegangan AC ini memiliki hasil relative sama jika dibandingkan dengan hasil secara analisi matematis (V1) dengan mengguakan persamaan (1) atau (2) seperti ditunjukkan pada Tabel 2, perbedaan ini dikarenakan penentuan nilai tegangan sudut *delay* masih dilakukan secara manual yakni membandingkan tegangan delay dengan gelombang gigi gergaji dan mengamatinya secara manual.



Gambar 17. Grafik perbandingan Vo.

Selisih tengan antara perhitungan dan simulasi pada penelitian ini memiliki nilai maksimum sebesar 0,25 Volt, perbedaan nilai ini masih dalam batas normal, dengan demikian rangkaian simulasi yang didesain ini dapat dinyatakan bekerja sesuai dengan konsep dasar teori pada rujukan yang digunakan.

Tabel 2. Output secara matematis

α	V1	V2	|V1-V2|
30˚	153,30	153,34	0,04
60˚	139,53	139,49	0,03
90˚	110,00	110,00	0,00
120˚	68,79	68,54	0,25
150˚	26,44	26,37	0,07

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Secara umum rangkain yang digunakan pada penelitian ini dapat menghasilkan bentuk gelombang output serta tegangan rms relative sesuai dengan konsep dasar pada referensi yang digunakan, adapun perbedaan yang didapatkan antara simulasi dan perhitungan secara matematis dikarenakan penentuan tegangan sumber untuk sudut delay masih dilakukan secara manual. Agar system ini menjadi lebih akurat sebaiknya ditambahkan rangkaian yang dapat menentukan sudut tunda secara digital dengan menggunakan bantuan mikroprosessor.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook Device, Circuits, and Application*, Second Edi. London: Academic press is an imprint of elsevier, 2007.

[2] M. D. Singh and K. B. Khanchandani, *Power electronics*, Second Edi. New Delhi: Tata McGraw-Hill publisihing companya limited New Delhi, 2007.

[3] N. Mohan, T. Underland M, and W. Robbins P, *Power electronics, Converters, Applications, and Design*, Third Edit. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2003.

[4] D. Hart W, *Power Electronics*. New York: McGraw Hill Companies, 2011.

[5] T. K. Chakraborty and S. Osman, "Design and Simulation of Triggering Circuit for Single-Phase Full-Wave Controlled Rectifier," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 02, no. 09, pp. 1894–1897, 2015, [Online]. Available: https://www.irjet.net/archives/V2/i9/IRJET-V2I9202.pdf

[6] M. D. Ovais, M. Aslam, M. Shariqazhar, and N. K. Pal, "SCR based Triggering Method for Single Phase Induction Motor," *J. Emerg. Technol. Innov. Res.*, vol. 3, no. 5, pp. 104–107, 2016, [Online]. Available: https://www.jetir.org/papers/JETIR1605021.pdf

[7] P. Sravan Kumar, B. Mahendar, and M. Shruthi, "Design and Implementation of AC Chopper," *Int. J. Emerg. Eng. Res. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 36–41, 2014, [Online]. Available: https://www.ijeert.org/pdf/v2-i1/7.pdf

[8] G. S. Zhou, T. Ya, S. Hua, and S. K. Zhao, "A design of SCR three-phase AC-voltage regulator simplify circuitry based on STM32 MCU," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 433–435, pp. 1271–1275, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.433-435.1271.

[9] E. Effendi, "Volume 6 | Nomor 2 | Desember 2019," *J-Innovation*, vol. 8, no. 2, pp. 1–637, 2019, doi: https://doi.org/10.55600/jipa.v8i2.72.

[10] E. Effendi and F. Fitriady, "Design and Application SCR Trigger Circuit for Three-phase Half-wave Controlled Rectifier with Resistive Load," *Inov. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 8, no. 2, pp. 246–256, 2023, doi: 10.31572/inotera.Vol8.Iss2.2023.ID249.