

Disain & Simulasi Rangkaian Pentrigger SCR Untuk Penyearah Terkendali Setengah Gelombang Tiga Fasa

¹Effendi, ²M. Agil Haikal

¹ Program Studi Teknologi Elektronika, Politeknik Aceh, Indonesia

² Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum Jombang, Indonesia

¹effendi@politeknikaceh.ac.id, ² agil.haikal86@gmail.com

Article Info

Article history:

Received January 12th, 2023

Revised January 20th, 2023

Accepted February 26th, 2023

Keyword:

Three-Phase

SCR

Comparator

Trigger Angle

Everage Output Voltage

ABSTRACT

One of the sub-subjects that studied in the power electronics course is the AC to DC converter in the form of a three-phase half-wave controlled rectifier where the output voltage can be controlled by adjusting the SCR gate trigger delay angle, in this research the author design and simulates an SCR triggering circuit for three-phase half-wave controlled rectifier where the components that used among others a three-phase step down transformer where the output functions as a reference signal to determine the starting point (30°) and end point (150°) of the triggering delay angle, also used as a power source for the system, the Op-Amp functions as a comparator for a three-phase rectifier (Vd) with a DC voltage (Vreference), it also functions to compare a triangle wave with a DC voltage to control the delay angle or trigger angle (α) of the SCR. The trigger pulses that given to the SCR1, SCR2, and SCR3 are carried out simultaneously in the same time by using one pulse, the average output voltage resulting from the SCR trigger circuit design in this research is relatively the same as the value obtained using mathematical calculations where the load used in form of resistive.

Copyright © 2023 Jurnal JEETech.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Effendi

Teknologi Elektronika, Politeknik Aceh, Indonesia

Jl. Politeknik Aceh, Pango Raya-Ulee Kareng, Banda Aceh, 23119.

Email: effendi@politeknikaceh.ac.id

Abstrak— Salah satu sub mata kuliah yang dipelajari didalam mata kuliah elektronika daya adalah konverter AC ke DC berupa penyearah terkendali setengah gelombang tiga fasa dimana tegangan keluaran dapat dikontrol dengan mengatur sudut tunda pentriggeran gate SCR-nya, pada penelitian ini penulis merancang dan mensimulasikan rangkaian pentrigger SCR untuk penyearah terkendali setengah gelombang tiga fasa dimana komponen yang digunakan antara lain transformator *step down* tiga fasa dimana keluarannya berfungsi sebagai sinyal referensi untuk menentukan titik awal (30°) dan titik akhir (150°) sudut pentriggeran, juga digunakan sebagai sumber daya untuk sistem, Op-Amp berfungsi sebagai pembanding penyearah tiga fasa (Vd) dengan tegangan DC (Vreferensi), juga berfungsi untuk membandingkan gelombang segitiga dengan tegangan DC untuk mengontrol sudut tunda atau sudut triger (α) dari SCR. Pulsa triger yang diberikan pada SCR1, SCR2, dan SCR3 dilakukan secara serentak diwaktu yang bersamaan dengan menggunakan satu buah pulsa, tegangan output rata-rata yang dihasilkan dari disain rangkaian pentrigger SCR dalam penelitian ini

relatif sama dengan nilai yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan secara matematis dimana beban yang digunakan bersifat resistif.

I. Pendahuluan

Elektronika daya merupakan salah satu bidang ilmu yang mempelajari dan membahas aplikasi elektronika yang berkaitan dengan peralatan listrik yang berdaya besar seperti pemanas industri, pengatur cahaya, pengatur daya reaktif, pengatur kecepatan motor AC dan DC serta beberapa aplikasi lainnya [1]–[7]. Salah satu materi yang dipelajari di dalam elektronika daya adalah konverter AC ke DC yang dapat dikendalikan dengan menggunakan komponen elektronika berupa SCR. Penyearah terkendali (*controlled rectifier*) merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan sumber arus bolak-balik dalam bentuk sinusoidal menjadi tegangan searah yang dapat dikendalikan dengan dengan cara mengatur sudut pentriggeran SCR [1][2][3].

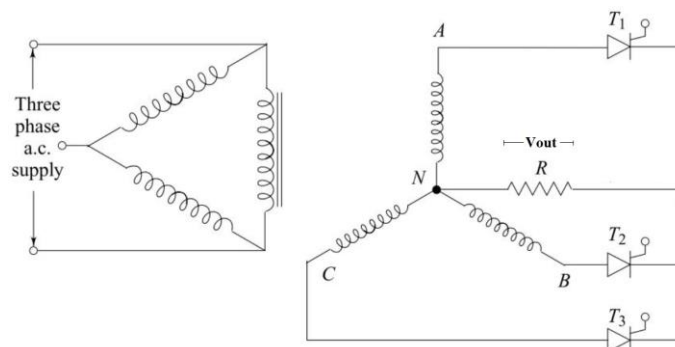
Pada penelitian ini penulis mendisain dan mensimulasikan rangkaian triger SCR untuk kebutuhan penyearah terkendali tiga fasa setengah gelombang dengan beban yang digunakan bersifat resistif, di mana perubahan sudut trigger SCR memiliki rentang lebih besar dari 30° dan lebih kecil dari 150° . Penyearah yang menggunakan sumber tegangan input tiga fasa akan menghasilkan tegangan output rata-rata lebih besar dibandingkan dengan penyearah yang menggunakan tegangan satu fasa, dengan demikian kebutuhan komponen yang digunakan untuk memfilter arus dan tegangan pada sisi beban akan menjadi lebih sederhana, alasan ini menjadikan penyearah tiga fasa banyak digunakan pada system penggerak kecepatan variabel berdaya tinggi [1].

II. Metode Penelitian

A. Topologi Penyearah Setengah Gelombang Tiga Fasa

Topology rangkaian penyearah terkendali setengah gelombang tiga fasa yang menggunakan tiga buah thyristor (SCR) dapat dilihat pada Gambar 1, dimana transformator dan tegangan sumber dianggap ideal untuk memudahkan analisis secara matematis, untuk mengatur besar tegangan output pada beban dapat dilakukan dengan menggunakan tiga buah SCR yang disusun secara common katoda dan sudut pentriggerannya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan[2][8].

Besar tegangan sumber tiga fasa V_{an} , V_{bn} , dan V_{cn} seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dapat dinyatakan secara matematis dengan menggunakan persamaan 1, 2, dan 3 dimana V_m merupakan tegangan puncak yang diukur dari sisi fasa terhadap netral pada sisi sekunder transformator, besar tegangan output untuk arus kontinyu dan arus tidak kontinyu dapat dicari dengan persamaan (4) dan (6) [1][2], frekuensi sumber tegangan yang digunakan pada penelitian ini sebesar 50 Hz[9].



Gambar 1. Penyearah Terkendali Tiga Fasa Setengah Gelombang[2]

$$V_{an} = V_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$V_{bn} = V_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2)$$

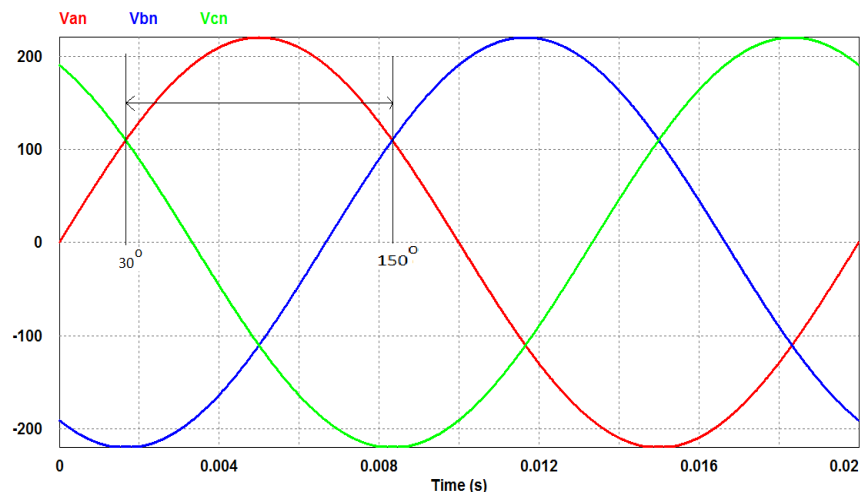
$$V_{cn} = V_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3)$$

Persamaan untuk mencari tegangan output untuk arus kontinyu :

$$V_o = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} V_m \sin \omega t d(\omega t) \quad (4)$$

Persamaan untuk mencari tegangan output untuk arus tidak kontinyu :

$$V_o = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) \quad (5)$$

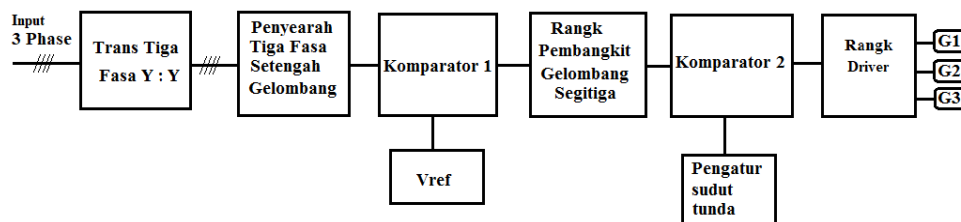


Gambar 2. Gelombang Tegangan Sumber Input Tiga Fasa

Dengan menggunakan persamaan 1, 2, dan 3, titik perpotongan antara sumber V_{an} dan V_{cn} didapat pada sudut 30° sementara perpotongan V_{an} dengan V_{bn} terjadi pada sudut 150° dari titik awal sumber tegangan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 [1][2]. SCR akan bekerja (*on state*) ketika *gate* dari masing-masing SCR diberi pulsa dengan sudut penundaan sebesar α . Penundaan pentriggeran pulsa ke *gate* dengan sudut α akan menghasilkan tegangan output rata-rata (V_o) pada beban yang bervariasi sesuai dengan besar sudut penundaan tersebut[1][2][4].

B. Perancangan Rangkaian Kontrol Triger SCR

Pada penelitian ini rangkaian pentrigger SCR yang diusulkan dibangun dengan menggunakan komponen elektronika dasar seperti diode, Op-Amp, kapasitor dan beberapa komponen lainnya[10]. Secara blok diagram dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.

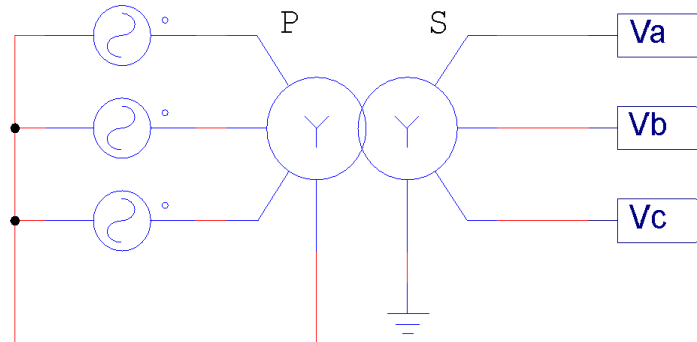


Gambar 3. Blok Diagram Rancangan Sistem

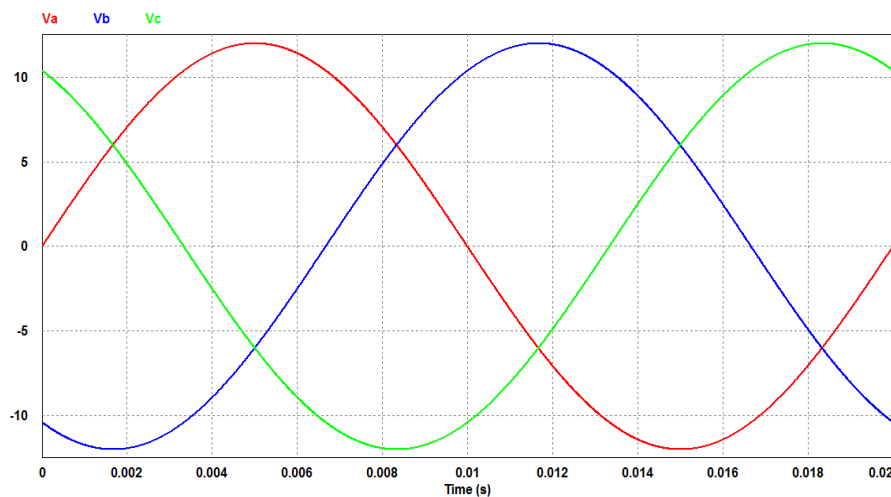
Transformator Tiga Fasa Step Down

Rangkaian transformator tiga fasa *step down* disusun dengan menggunakan hubungan Y:Y seperti ditunjukkan pada Gambar 4, dimana output dari transformator ini memiliki tegangan AC yang rendah seperti ditunjukkan pada Gambar 5, hal ini dikarena sistem memerlukan sumber listrik tiga fasa tegangan rendah yang

digunakan sebagai sumber referensi gelombang tiga fasa sekaligus sebagai catu daya untuk rangkaian kontrol elektronik sistem, selanjutnya output dari rangkaian ini dihubungkan dengan rangkaian penyearah tiga fasa setengah gelombang.

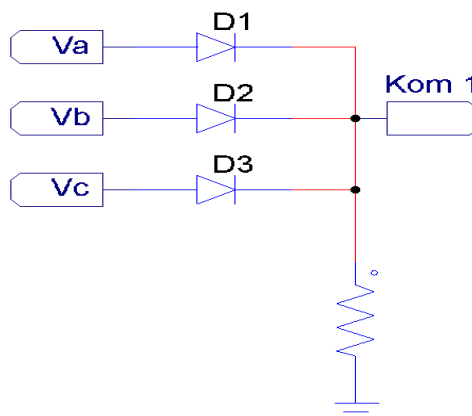


Gambar 4. Transformator Tiga Fasa Y:Y



Gambar 5. Ouput Transformator Tiga Fasa

Penyearah Tiga Fasa Setengah Gelombang



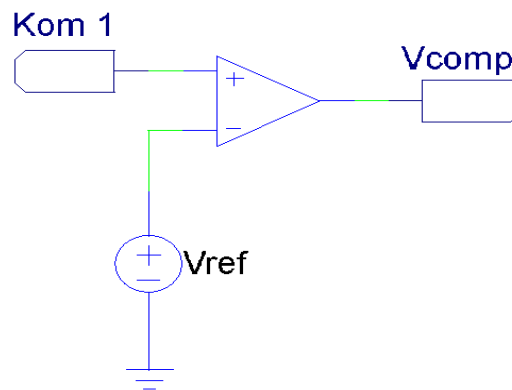
Gambar 6. Penyearah Setengah Gelombang Tiga Fasa

Rangkaian penyearah tidak terkendali tiga fasa setengah gelombang seperti ditunjukkan pada Gambar 6 berfungsi untuk mengubah tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*), penyearah ini tidak dihubungkan dengan rangkaian filter, hasil perpotongan antara V_{an} dan V_{cn} yang teletak

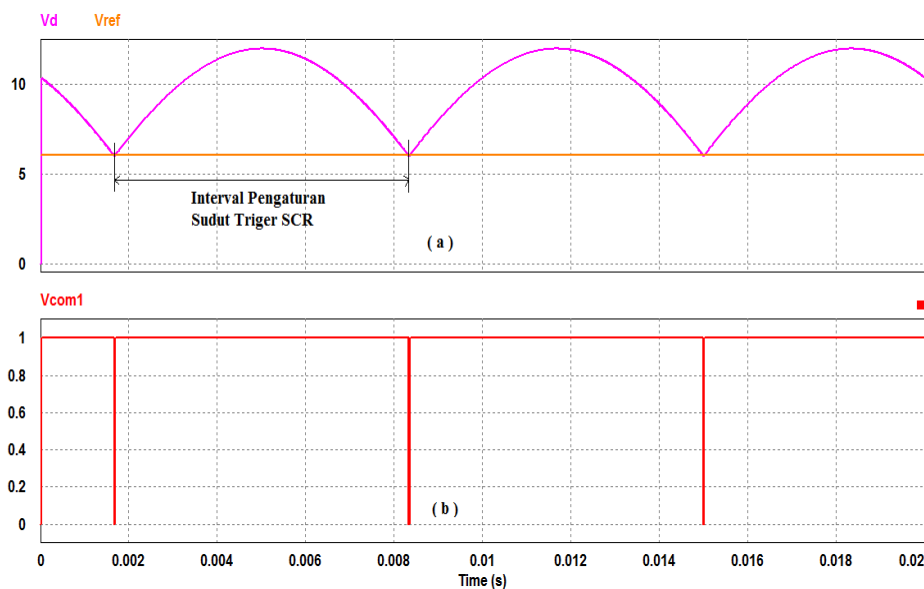
pada sudut 30° menjadi titik awal referensi bagi rangkaian pentriggeran dan perpotongan antara V_{an} dan V_{bn} yang terletak pada sudut 150° menjadi titik akhir referensi seperti ditunjukkan pada Gambar 8.(a). Tegangan output (V_d) dari rangkaian ini selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian komparator 1.

Rangkaian Komparator 1

Rangkaian komparator 1 pada system ini dibangun dengan menggunakan Op-Amp seperti ditunjukkan pada Gambar 7 dimana sistem menggunakan catu daya dalam bentuk DC, komparator ini berfungsi untuk membandingkan gelombang tegangan yang berasal dari rangkaian penyearah (V_d) dengan tegangan DC (V_{ref}), output dari rangkaian ini (V_{comp1}) ditunjukkan pada Gambar 8.(b) selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian pembangkit gelombang segitiga.



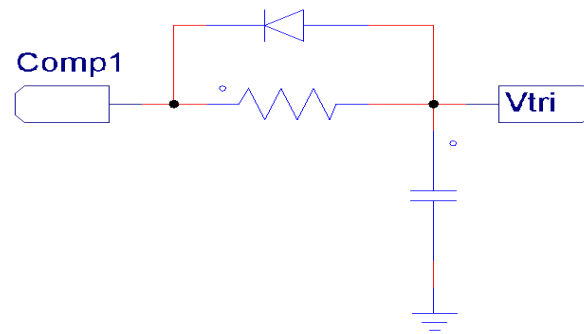
Gambar 7. Rangkaian Komparator 1



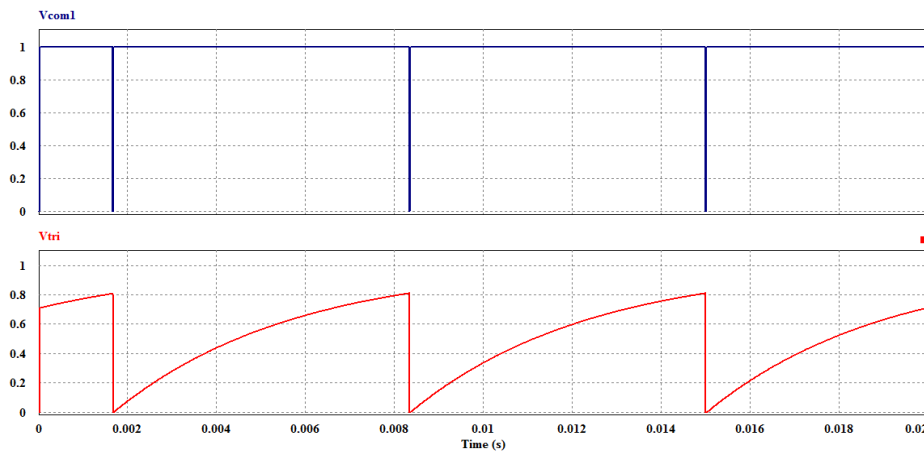
Gambar 8. (a) Gelombang V_d dan V_{ref} , (b) Gelombang V_{com1}

Rangkaian Pembangkit Gelombang Segitiga

Output yang bersumber dari rangkaian komparator 1 selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian pembangkit gelombang segitiga yang disusun dari beberapa komponen elektronika sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 9. Output dari rangkaian pembangkit gelombang segitiga menghasilkan bentuk gelombang segitiga gigi gergaji (V_{tri}) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, selanjutnya output dari rangkaian ini dihubungkan dengan rangkaian komparator 2.

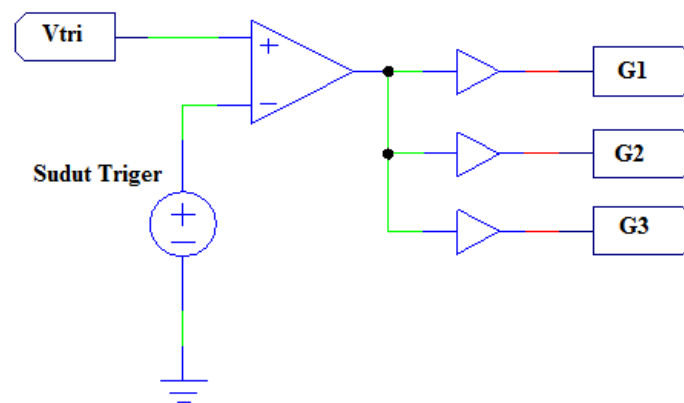


Gambar 9. Rangkaian Pembangkit Gelombang Segitiga



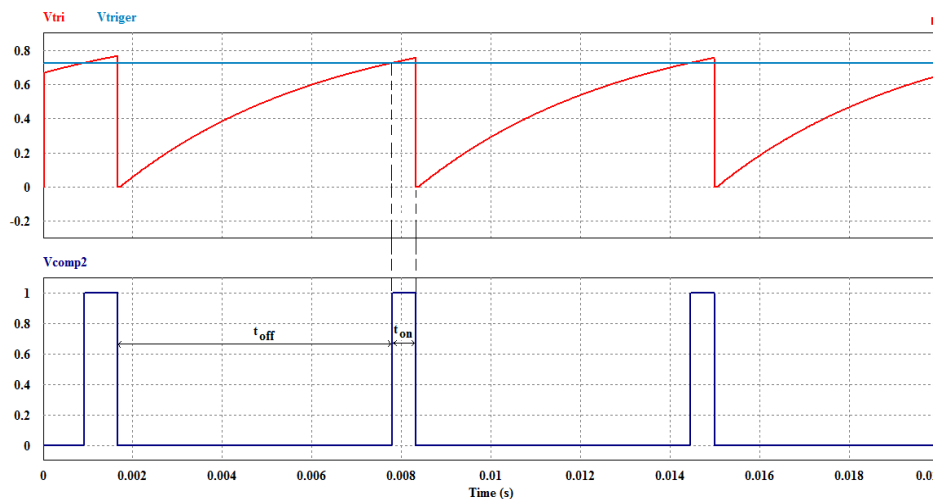
Gambar 10. Gelombang Segitiga (V_{tri})

Rangkaian Komparator 2



Gambar 11. Rangkaian Komparator 2

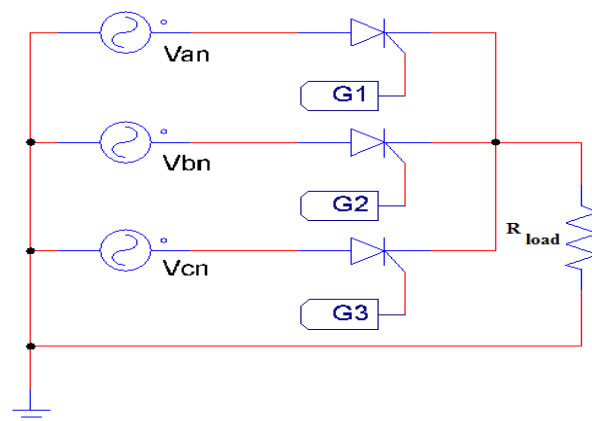
Rangkaian komparator 2 seperti ditunjukkan pada Gambar 11, rangkaian ini digunakan untuk membandingkan gelombang segitiga dengan tegangan DC, pengaturan sudut tunda pentriggeran dari rangkaian SCR dapat dilakukan dengan cara mengatur nilai tegangan DC pada rangkaian komparator 2, output dari rangkaian komparator 2 seperti ditunjukkan pada Gambar 12, dimana nilai t_{on} dan t_{off} akan bervariasi sesuai dengan nilai tegangan sudut trigger, selanjutnya output dari rangkaian ini dihubungkan dengan rangkaian penggerak untuk mengaktifkan *gate* masing-masing SCR.



Gambar 12. Gelombang Output Komparator 2

Rangkaian Daya Penyearah Terkendali

Rangkaian daya penyearah terkendali tiga fasa setengah gelombang pada penelitian ini menggunakan tiga buah SCR seperti ditunjukkan pada Gambar 13, masing-masing *gate* akan diaktifkan secara bersamaan dengan menggunakan pulsa dari rangkaian komparator 2, adapun beban yang digunakan bersifat resistif.



Gambar 13. Rangkaian Daya

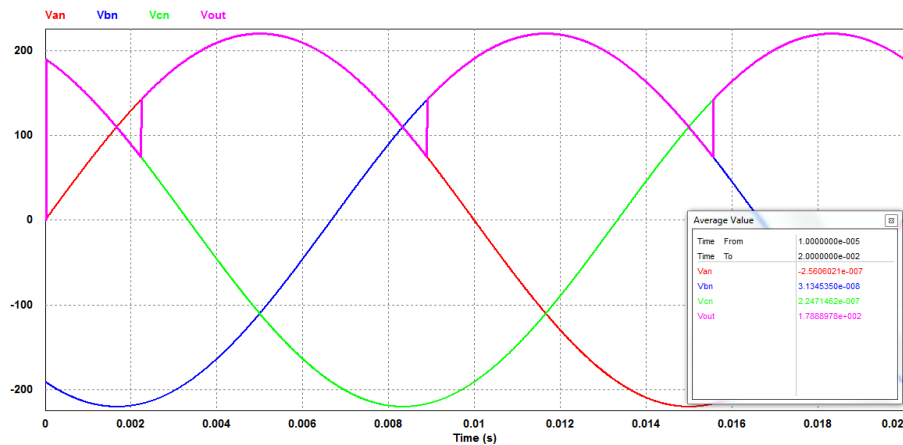
III. Hasil dan Pembahasan

Bentuk gelombang output dan nilai tegangan rata-rata (V_{out}) pada rangkaian daya yang menggunakan beban resistif dapat dilihat pada Gambar 14, besar sudut pentriggeran yang digunakan sebesar $\alpha = 10^\circ$ dimana pada gambar dapat diamati bahwa gelombang tegangan berada pada kondisi kontinyu sehingga untuk mendapatkan tegangan output secara matematis menggunakan persamaan (4), sementara Gambar 15 menunjukkan bentuk gelombang tegangan output dalam posisi tidak kontinyu sehingga untuk mendapatkan nilai tegangan secara perhitungan menggunakan persamaan (5).

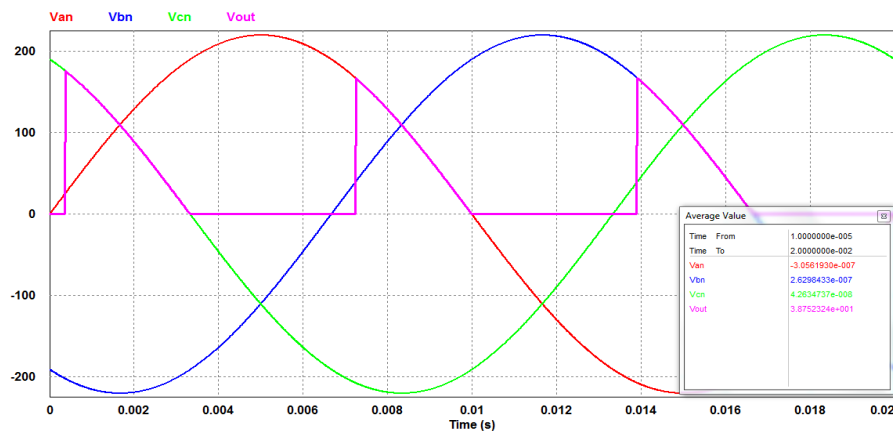
Hasil pengujian baik secara simulasi dengan menggunakan komputer maupun perhitungan dengan menggunakan persamaan matematis dapat dilihat pada Tabel 1, pada saat sudut triger 10° tegangan output secara simulasi dan analisis matematis memiliki perbedaan sebesar 0.376 Volt sementara pada saat sudut triger 20° memiliki perbedaan sebesar 0.136 Volt, perbedaan ini dapat terjadi dikarenakan penginputan tegangan sudut triger pada rangkaian komparator 2 tidak linear menyesuaikan dengan gelombang V_{tri} , dimana pengujian dilakukan pada sudut tunda atau sudut triger diantara $\alpha = 10^\circ$ hingga $\alpha = 100^\circ$ dengan kelipatan 10 derajat, grafik perbandingan hasil kedua pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 16.

Secara umum dapat dinyatakan bahwa tegangan ouput baik secara simulasi maupun secara perhitungan matematis pada penelitian ini tidak memiliki perbedaan yang signifikan, dengan demikian rangkaian kendali pentriggeran SCR yang dirancang pada penelitian ini dapat dinyatakan bekerja dengan baik hal ini ditandai

dengan selisih tegangan output rata-rata simulasi dan perhitungan sangat kecil seperti ditunjukkan secara grafik pada Gambar 16.



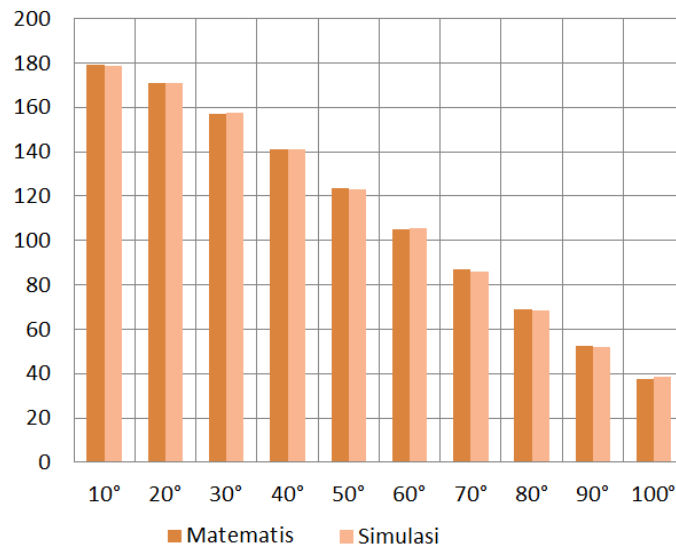
Gambar 14. Gelombang Voutput pada saat $\alpha=10^\circ$



Gambar 15. Gelombang Voutput pada saat $\alpha=100^\circ$

Tabel 1.Data Tegangan Output Beban Resistif

No	α	Tegangan	
		Matematis	Simulasi
1	10°	179,265 Volt	178,889 Volt
2	20°	171,031 Volt	170,895 Volt
3	30°	157,031 Volt	157,705 Volt
4	40°	141,040 Volt	141,002 Volt
5	50°	123,345 Volt	123,182 Volt
6	60°	105,095 Volt	105,787 Volt
7	70°	86,845 Volt	86,088 Volt
8	80°	69,150 Volt	68,598 Volt
9	90°	52,547 Volt	52,188 Volt
10	100°	37,541 Volt	38,752 Volt

Gambar 16. Grafik Perbandingan V_{out}

IV. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian rancangan pentrigger SCR untuk penyearah terkendali setengah gelombang tiga fasa secara simulasi menggunakan komputer dan melakukan analisis secara matematis maka penulis dapat mengambil kesimpulan :

1. Secara umum rangkaian pentrigger SCR yang diaplikasikan untuk penyearah terkendali tiga fasa dengan beban resistif pada penelitian ini dapat bekerja dengan baik.
2. Rangkaian pentrigger SCR ini mampu menghasilkan gelombang output tegangan rata-rata yang nilainya relatif sama dengan nilai perhitungan secara matematis.
3. Mekanisme pulsa pentriggeran *gate* masing-masing SCR (SCR1, SCR2, dan SCR3) dilakukan secara serentak dalam waktu yang bersamaan dengan menggunakan pulsa yang sama.

V. 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 publishing company 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] A. Asnil, K. Krismadinata, I. Husnaini, O. Candra, and D. E. Myori, "Performance analysis of three-phase controlled rectifier in various switching angles," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 1959–1965, 2019, doi: 10.35940/ijeat.A9524.109119.
- [6] K. Premkumar, P. Kandasamy, M. Vishnu Priya, T. Thamizhselvan, and S. B. Ron Carter, "Three-phase rectifier control techniques: A comprehensive literature survey," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 3183–3188, 2020.
- [7] 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.

-
- [8] Yulian Hariski and Arief Wicaksono, "Monitoring Penggunaan Daya 3 Phase Dengan Notifikasi Berbasis Telegram," *J. JEETech*, vol. 3, no. 1, pp. 25–35, Jun. 2022, doi: 10.48056/jeetech.v3i1.187.
- [9] Effendi and Makandibengkel, "Studi Analisis Perbandingan Pwm Carrier Untuk Multilevel Inverter Tiga Fasa Lima Belas Level Dengan Sumber Input Simetris Terpisah," *J. JEETech*, vol. 3, no. 1, pp. 10–18, May 2022, doi: 10.48056/jeetech.v3i1.185.
- [10] E. Fitriady, "DISAIN DAN APLIKASI RANGKAIAN TRIGER SCR UNTUK PENYEARAH TERKENDALI SATU FASA (Design and Implementation SCR Trigger Circuit For Single Phase Controlled Rectifiers)," *J. J-Innovation*, vol. 8, no. 1, pp. 25–29, 2019.