

RANCANG BANGUN CYCLOCONVERTER UNTUK SINKRONISASI PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK

Heri Haryanto¹, Ahmad Hidayat² Ri Munarto³
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jln. Jendral Sudirman KM 4, Cilegon, Banten
Email : elektrojos@yahoo.com¹ ahmadhidayat1201@yahoo.co.id²

Abstrak

Cycloconverter adalah rangkaian elektronika daya yang memiliki kemampuan untuk mengubah besar tegangan dan frekuensi jala-jala. Rangkaian Cycloconverter satu fasa pada Tugas akhir ini dibentuk oleh 8 buah SCR yang penyulutannya dilakukan oleh dua buah IC control fasa (TCA 785) yang di switching secara bergantian menggunakan mikrokontroler ATmega 16. Selain menghasilkan sinyal penyulutan untuk SCR, IC control fasa (TCA 785) digunakan untuk mengatur tegangan keluaran pada cycloconverter. Untuk ATmega 16 juga dapat digunakan sebagai pengatur frekuensi pada jala-jala. Cycloconverter satu fasa pada tugas akhir ini akan digunakan sebagai alat sinkronisasi pembangkit tenaga listrik. Untuk sinkronisasi pembangkit tenaga listrik memiliki beberapa syarat seperti tegangan, frekuensi dan fasa antara pembangkit harus sama. Dengan cycloconverter ini dapat mengatur tegangan keluaran pada pembangkit tenaga listrik sehingga dapat dilakukan sinkronisasi walaupun tegangan keluaran kedua pembangkit tenaga listrik tersebut berbeda.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat, banyaknya beban yang bertambah mengharuskan penambahan daya pada pembangkit tenaga listrik sebagai sumber daya. Apalagi ditambah dengan pesatnya pertumbuhan industri di Indonesia yang mengharuskan banyaknya didirikan pabrik-pabrik yang membutuhkan daya dengan skala besar. Disamping itu dengan pesatnya pertumbuhan perekonomian masyarakat di Indonesia mengharuskan pelayanan pemasokan listrik yang optimal dari pembangkit tenaga listrik.

Dikarenakan sumber daya listrik yang terbatas maka sering dilakukan pemadaman listrik secara bergilir oleh PLN sebagai perusahaan milik negara yang menyediakan energi listrik. Hal inilah yang membuat PLN membuka peluang bagi masyarakat Indonesia yang ingin membantu menambah daya listrik untuk memperbesar pendistribusian daya listrik. Penambahan daya listrik PLN tersebut dapat dilakukan dengan cara memparalelkan jaringan listrik PLN dengan pembangkit listrik baru. Untuk dapat menghubungkan pembangkit listrik baru dengan sistem maka harus dilakukan sinkronisasi antara pembangkit listrik baru tersebut dengan PLN [1].

1.2 Perumusan Masalah

Pada uraian latar belakang yang telah dijelaskan, maka pada penelitian ini dirumuskan beberapa masalah yang perlu diperhatikan:

1. Bagaimana cara mengatur besar tegangan yang diinginkan pada *cycloconverter*?
2. Bagaimana fasa yang dihasilkan pada *cycloconverter*?
3. Bagaimana daya yang dihasilkan oleh pada *cycloconverter*?
4. Bagaimana mensinkronkan dua buah pembangkit tenaga listrik dengan *cycloconverter* dengan keluaran frekuensi 50Hz dan besar tegangan 220 volt.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian rancang bangun *cycloconverter* untuk sinkronisasi pembangkit tenaga listrik ialah:

1. Merancang dan membuat sebuah alat yang diaplikasikan ke sinkronisasi pembangkit tenaga listrik.
2. Perancangan *cycloconverter* sesuai dengan simulasi yang dibuat.
3. Mengatur tegangan keluaran pada pembangkit tenaga listrik menggunakan *cycloconverter*.
4. Merancang alat untuk penambahan daya dengan melakukan sinkronisasi dua pembangkit tenaga listrik.

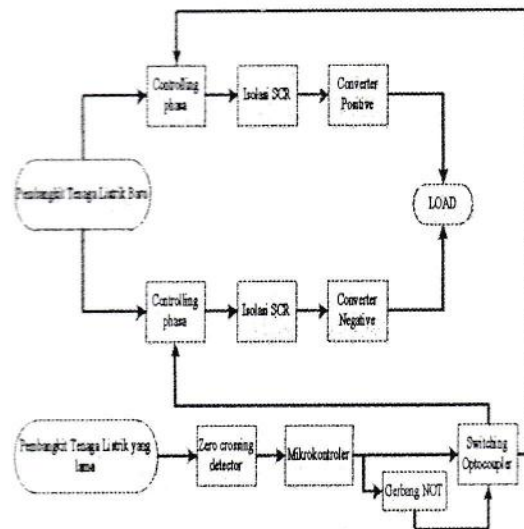
1.4 Batasan Masalah

Pada uraian latar belakang yang telah dijelaskan, maka pada penelitian ini dirumuskan beberapa masalah yang perlu diperhatikan:

1. Pada penelitian ini *cycloconverter* digunakan untuk sinkronisasi dengan mengatur tegangan.
2. Sinkronisasi yang digunakan hanya menggunakan dua pembangkit tenaga listrik.
3. Rancang bangun *cycloconverter* ini digunakan untuk satu fasa.
4. Harmonisa pada keluaran cycloconverter diabaikan.

2. METODE PENELITIAN

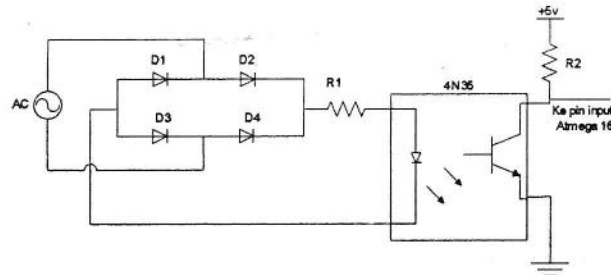
Pada perancangan hardware ini merupakan perancangan elektronika daya yang digunakan untuk sinkronisasi pembangkit tenaga listrik yaitu cycloconverter. Cycloconverter pada tugas akhir ini terdiri dari beberapa rangkaian seperti rangkaian *Controlling* (pengatur), rangkaian *switching* (saklar), dan rangkaian *Converter* (pengubah). Selain itu, pada rancang bangun cycloconverter ini diperlukan rangkaian beberapa rangkaian pendukung seperti, *power supply*, rangkaian *isolasi*, dan rangkaian *zero crossing detector*. Berikut adalah gambar 2.1 diagram blok perancangan cycloconverter satu fasa.



Gambar 1 diagram blok perancangan cycloconverter satu fasa

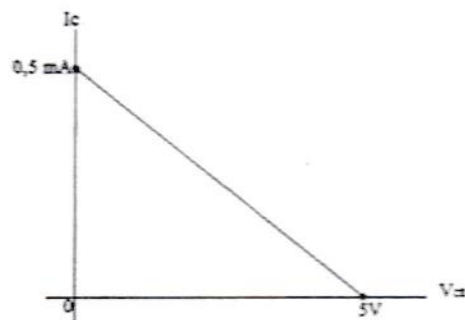
2.1 Zero crossing detector

Zero crossing detector merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mendeteksi tegangan nol dari tegangan jala-jala. Berikut adalah gambar 2. rangkaian *zero crossing detector*.



Gambar 2. Rancangan rangkaian *zero crossing detector*

Fungsi dari optocoupler 4N35 adalah sebagai pen jembatan antara tegangan tinggi dan tegangan rendah, atau biasa disebut *voltage leveler*. Ketika LED yang terintegrasi dalam *chip* 4N35 telah diberi arus dan tegangan yang cukup, phototransistor akan berada dalam keadaan saturasi, maka V_c akan mendekati 0 volt. Sedangkan apabila LED yang terintegrasi dalam *chip* 4N35 tidak diberi arus dan tegangan yang cukup, phototransistor akan berada dalam keadaan *cut off*, maka V_c akan mendekati 5 volt. Tegangan ini nantinya akan dimasukkan ke input *external interrupt* mikrokontroler Atmega16 (INT 0 = a0). Berikut adalah gambar grafik hubungan V_c dan I_c .



Gambar 3. Hubungan antara V_c dan I_c .

Pengaturan sensitivitas phototransistor terhadap cahaya yang diberikan oleh LED dilakukan dengan cara mengatur nilai R_2 . Semakin besar nilai R_2 maka respon phototransistor akan semakin cepat dalam menerima cahaya yang

diberikan oleh LED. Pada perancangan ini nilai R_2 ditentukan sebesar $10\text{ k}\Omega$ sehingga didapat hubungan antara V_c dan I_c seperti pada gambar grafik 3.8.

IC 4N35 mempunyai tegangan kerja dan arus kerja maksimal (dapat dilihat pada *datasheet*), apabila kita memberikan tegangan kerja dan arus kerja di atas kemampuan kerja IC 4N35, maka IC tersebut akan mengalami kerusakan. Pembatasan tegangan dan arus input yang masuk ke LED IC 4N35 dengan menggunakan resistor (R_1). Untuk menghitung nilai R_1 dapat menggunakan rumus pada persamaan sebagai berikut:

$$I_Z = \frac{V_{max} - V_Z}{R}$$

Dimana:

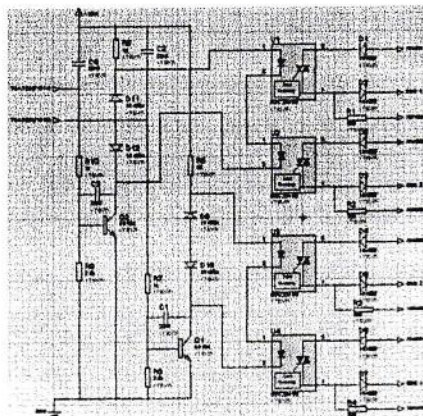
V_{max} = Tegangan puncak jala-jala yang biasa dipakai di Indonesia

V_Z = Tegangan jatuh LED

I_Z = Arus kerja LED (max)

2.2 Rangkaian Isolasi

Rangkaian *isolasi* yang dimaksud pada penelitian ini adalah rangkaian pemisah antara rangkaian *controlling* (pengatur) dengan rangkaian *converter* (pengubah) yang masih dalam satu sistem. Rangkaian *controlling* dapat mengendalikan rangkaian *converter* tanpa terhubung secara langsung, Karena jika terhubung secara langsung akan terjadi kerusakan pada rangkaian *controlling* apabila terjadi arus balik dari beban. Oleh karena itu diperlukan rangkaian *isolasi* yang dapat melindungi mikrokontroler dari terjadinya arus balik. Berikut adalah gambar 2.4 rangkaian isolasi yang digunakan.

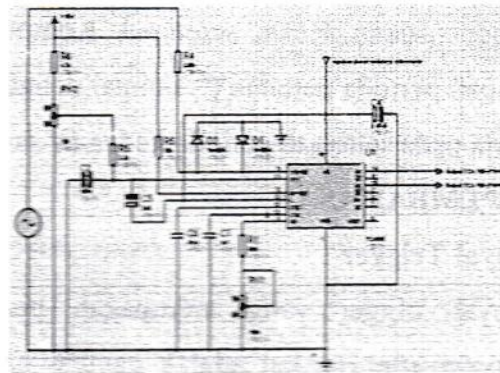


Gambar. 4 Rangkaian *Isolasi*.

2.3 Rangkaian *controlling phasa*

Rangkaian *controlling phasa* merupakan rangkaian pengendali SCR untuk mengatur *output* tegangan agar sesuai dengan syarat sinkronisasi yaitu memiliki tegangan yang sama antara kedua pembangkit tersebut. Pada rancang bangun cycloconverter ini diperlukan dua rangkaian *controlling phasa*. Rangkaian *controlling phasa* yang pertama untuk *Converter Positive* sedangkan rangkaian *controlling phasa* yang kedua untuk *Converter Negative*. Oleh karena itu diperlukan dua IC TCA785 untuk membuat rangkaian *controlling phasa*.

IC TCA 785 merupakan produk dari Siemens Semiconductor Group yang dibuat untuk menghasilkan pulsa pemicuan (*trigger pulse*) untuk mengontrol fasa pada thyristor, triac, dan transistor, antara 0° hingga 180° pada sumber tenaga ac, sedangkan bila sumber tegangannya dc maka diperlukan komutasi (*commutation*). Khusus IC ini dapat diaplikasikan pada kontrol tegangan ac terkontrol (*converter*) satu fasa dan tiga fasa, penyearah terkontrol (*controlled rectifier*) satu fasa maupun tiga fasa, dan kontrol tegangan dc terkontrol (*dc chopper*). Untuk rangkaian *controlling phasa* sendiri dapat dilihat pada gambar 5 yang dirancang menggunakan *software* ISIS Proteus.

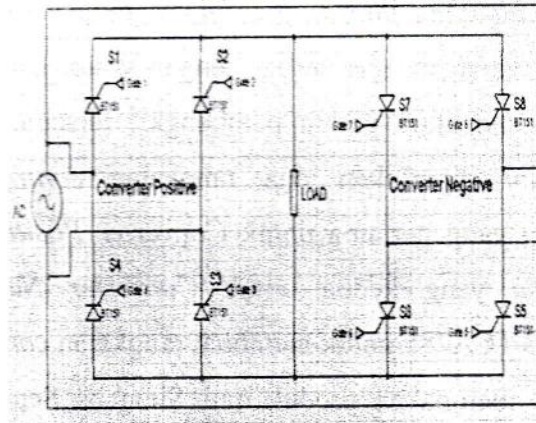


Gambar. 5 Rangkaian *Controlling phasa*.

2.4 Rangkaian *Converter Positive* dan *Converter Negative*

Rangkaian *Converter Positive* dan *Converter negative* pada penelitian ini merupakan rangkaian penyearah gelombang penuh pada rancang bangun cycloconverter, sehingga masukan dari cycloconverter yang berupa tegangan AC dan frekuensi AC dapat di atur sesuai tegangan AC dan frekuensi AC yang

diinginkan. Berikut adalah gambar rangkaian *converter positive* dan *converter negative* pada gambar 6 dirancang menggunakan *software ISIS Proteus*.



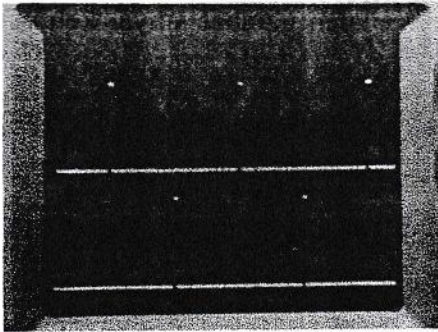
Gambar 6. *Converter Positive* dan *Converter Negative*.

Dari gambar rangkaian 4 yaitu ragkain *converter positif* dan rangkaian *converter negative* dapat dijelaskan proses pemicuan pada rangkaian converter gelombang penuh satu fasa ialah SCR 1 dan SCR 2 serta SCR 3 dan SCR 4 masing masing dioperasikan secara serempak Komponen SCR 1 dan SCR 3 bekerja pada setengah perioda pertama (0 sampai dengan π), dan komponen SCR 2 dan SCR 4 bekerja pada setengah perioda kedua (π sampai dengan 2π). Begitu juga pada rangkaian *converter negative* SCR 5 dan SCR 6 serta SCR 7 dan SCR 8 masing masing dioperasikan secara serempak Komponen SCR 6 dan SCR 8 bekerja pada setengah perioda pertama (0 sampai dengan π), dan komponen SCR 5 dan SCR 7 bekerja pada setengah perioda kedua (π sampai dengan 2π)

1. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sinyal Trigger

Pengujian sinyal trigger yang merupakan pengendali tegangan pada perancangan cycloconverter. Berikut adalah gambar hasil dari pengujian sinyal trigger.

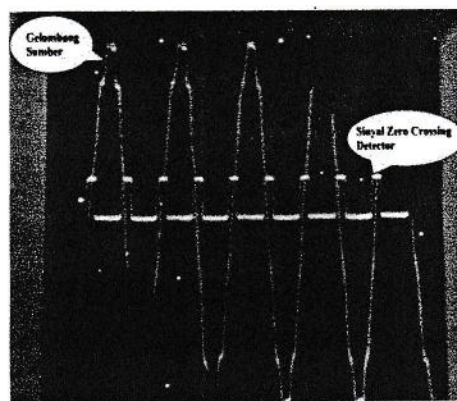


Gambar 7. Sinyal trigger cycloconverter.

Dari gambar 7 hasil pengujian sinyal trigger dapat terlihat bahwa sinyal trigger cycloconverter pada PIN 14 dengan PIN 15 selalu bergantian. Kegunaan dari sinyal trigger pada cycloconverter ini untuk mengatur sudut penyulutan pada SCR yang merupakan komponen utama pada rangkaian converter positif dan rangkaian converter negative. Sehingga SCR tersebut dapat berfungsi sebagai penyearah yang dapat dikendalikan.

3.2 Pengujian *zero crossing detector*

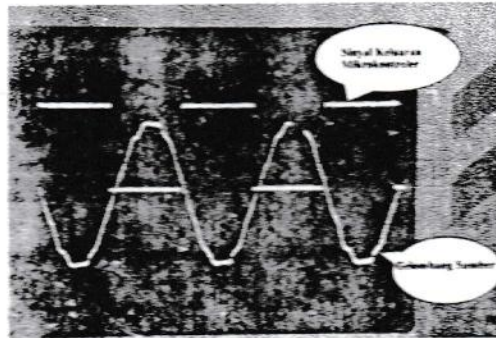
Rangkaian *zero crossing detector* yang merupakan sensor frekuensi pada perancangan cycloconverter ini mengambil frekuensi sumber sebagai frekuensi referensi. Pada hasil pengujian *zero crossing detector* memiliki bentuk seperti sinyal PWM yang dihasilkan pada keluaran optocoupler. Optocoupler sendiri sebagai komponen utama pada rangkaian *zero crossing detector*, Berikut adalah gambar sinyal keluaran pada pengujian *zero crossing detector*.



Gambar 8. Sinyal *Zero Crossing Detector*

Dapat dilihat pada gambar 8 sinyal keluaran dari rangkaian *zero crossing detector* ini akan dijadikan input ke mikrokontroler untuk diolah menjadi keluaran

sinyal digital. Berikut adalah gambar sinyal keluaran mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Sinyal Keluaran Mikrokontroler

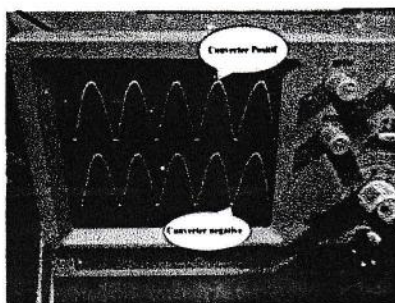
Bisa dilihat pada gambar 9 waktu yang diperlukan untuk sinyal digital ketika saat *low* dan *high* itu sama yaitu 0.02s dengan *duty cycle* sebesar 50%. Hal tersebut dikarenakan frekuensi referensi yang digunakan pada rangkaian *zero crossing detector* sebesar 50 Hz, sehingga perhitungan untuk mendapatkan waktu sebesar 0.02s yaitu dengan rumus sebagai berikut.

$$T = \frac{1}{F}$$

$$T = \frac{1}{50} = 0.02s = 20ms$$

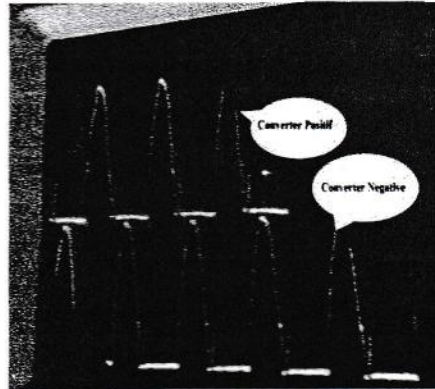
3.3 Pengujian *converter positif* dan *converter negative*

Converter pada perancangan cycloconverter ini terdiri dari dua converter, yaitu converter positif dan converter negative yang keduanya merupakan penyearah terkendali satu fasa gelombang penuh. Berikut adalah hasil pengujian rangkaian *converter negative* dan rangkaian *converter positif* seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 10. Gelombang keluaran *converter positif* dan *converter negative*

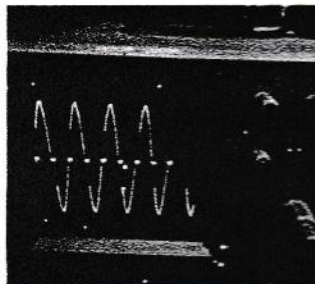
Setelah rangkaian *converter positif* dan rangkaian *converter negative* menghasilkan penyearah gelombang penuh satu fasa yang terlihat pada gambar 10, maka dilakukan *switching* antara *converter positif* dan *converter negative*, seperti gambar gelombang keluaran sebagai berikut.



Gambar 11 Gelombang keluaran *switching* antara rangkaian *converter positif* dengan rangkaian *converter negative*.

3.4 Pengujian Cycloconverter

Langkah untuk melakukan pengujian ini yaitu dengan melakukan penggabungan antara *converter positif* dan *converter negative* yang sudah mengalami proses *switching* seperti yang terlihat pada gambar 11. Akan tetapi polaritas pada *converter negative* di balik, sehingga menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal (AC) seperti pada gambar 12 sebagai berikut.



Gambar 12. Gelombang keluaran cycloconverter

Dari gambar 12. sudah terlihat hasil dari keluaran cycloconverter. Dengan begitu, dapat dilakukan pengambilan data pada perancangan cycloconverter. Berikut adalah data tabel 3.1 pengujian perancangan cycloconverter.

V	I _{sumber}	V _{output}	I _{beban}	Daya	F
28	0.40 A	150	0.02 A	15 watt	50 Hz
34	0.81 A	165	0.07 A	30 watt	50 Hz
38	1.21 A	171	0.12 A	45 watt	50 Hz
40	1.33 A	180	0.13 A	50 watt	50 Hz
42	1.80 A	165	0.19 A	60 watt	50 Hz
41	1.97 A	158	0.21 A	75 watt	50 Hz
44	1.99 A	150	0.24 A	80 watt	50 Hz
45	2.17 A	145	0.26 A	90 watt	50 Hz
48	2.68 A	143	0.32 A	100 watt	50 Hz

Tabel 1. Datapengujian perancangan cycloconverter

Pada tabel 1 berupa data tegangan *input*, tegangan *output*, arus sumber, arus beban, daya yang tertera, dan frekuensi. Dari data dan hasil pengujian pada pengujian cycloconverter dapat dihitung efisiensi daya yang dihasilkan pada cycloconverter dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{power output}}{\text{power input}} \times 100\%$$

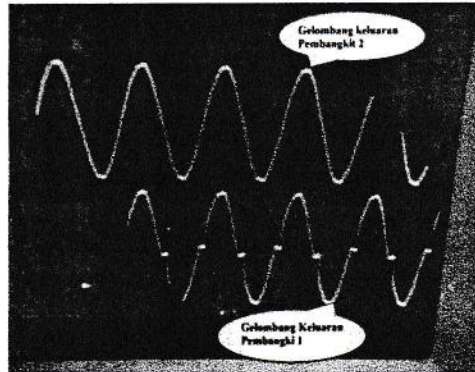
Dari persamaan diatas dapat dihitung hasil efisiensi daya, dengan data pada tabel 1. Berikut adalah hasil perhitungan efisiensi daya berdasarkan persamaan efisiensi.

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{171 \text{ volt} \times 0.12 \text{ A}}{38 \text{ volt} \times 1.21 \text{ A}} \times 100\% \\ &= 44.63\% \end{aligned}$$

3.5 Pengujian Sinkronisasi Menggunakan Cycloconverter.

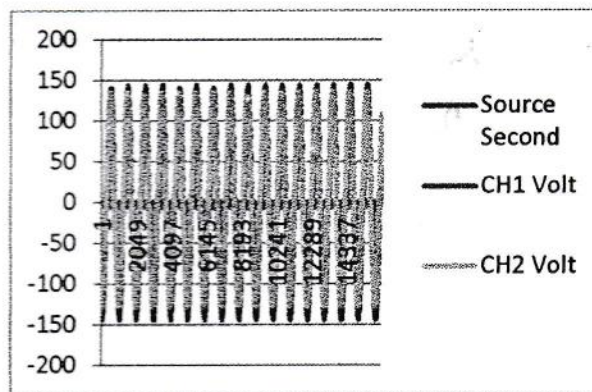
Pengujian sinkronisasi pembangkit tenaga listrik mempunyai beberapa syarat yang harus dipenuhi seperti tegangan, frekuensi, dan urutan fasa harus sama.

Berikut adalah gambar keluaran gelombang pada pembangkit 1 yang dipasang perangkat cycloconverter dan keluaran gelombang pembangkit 2.



Gambar 13 Gelombang keluaran pembangkit 1 dan pembangkit 2

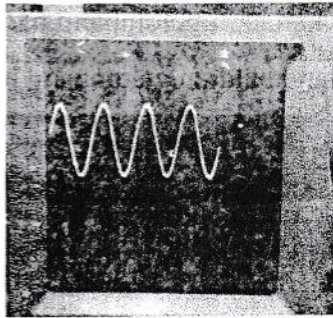
Dari hasil gambar 1 dengan syarat frekuensi, tegangan, dan fasa sama antara pembangkit 1 dan pembangkit 2, maka dapat dilakukan proses sinkronisasi. Proses sinkronisasi ini dapat dilakukan dengan menaikan saklar atau MCB yang terpasang memisahkan jalur pembangkit 1 dan pembangkit 2. Berikut adalah gambar 14 grafik dari proses sinkronisasi.



Gambar 14 Grafik Proses Sinkronisasi

Dari gambar grafik diatas terlihat bentuk gelombang baik *lagging* dan *lading* nya sama antara pembangkit 1 yang merupakan CH1 dan pembangkit 2 yang merupakan CH 2. Sehingga tegangan keluaran, frekuensi keluaran dari kedua pembangkit tersebut sama, begitu juga dengan fasanya.

Berikut adalah hasil keluaran gelombang pengujian sinkronisasi dapat dilihat pada gambar 15 dibawah ini



Gambar 15 Gelombang hasil sinkronisasi

5. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian tugas akhir yang telah selesai dilakukan oleh penulis dikaitkan dengan permasalahan dan tujuan pada perancangan cycloconverter untuk sinkronisasi pembangkit tenaga listrik, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada penelitian tugas akhir ini yaitu perancangan cycloconverter yang dihasilkan dapat mengatur besar tegangan AC menjadi besar tegangan AC yang kita inginkan dengan tegangan maksimal 180 Volt. Sehingga, dapat digunakan sebagai sinkronisasi antara pembangkit tenaga listrik dengan tegangan maksimal 180 Volt.
2. Efisiensi daya yang dihasilkan pada perancangan cycloconverter ini bisa mencapai 44.63%
3. Gelombang fasa yang dikeluarkan pada perancangan cycloconverter ini berbentuk sinusoidal murni.
4. Urutan fasa yang dilakukan pada saat proses sinkronisasi dilakukan secara manual.

SARAN

Pada perancangan cycloconverter untuk sinkronisasi pembangkit tenaga listrik, penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Berikut adalah saran penulis untuk perancangan cycloconverter untuk sinkronisasi pembangkit tenaga listrik:

1. Menggunakan rating tegangan dan arus yang tinggi pada SCR untuk digunakan perancangan cycloconverter sebagai sinkronisasi pembangkit tenaga listrik
2. Menambahkan *display* pada perancangan cycloconverter untuk sinkronisasi pembangkit tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Rashid, Muhammad.(1999). Elektronika Daya, Rangkaian, Devais dan Aplikasinya Jilid 1. Jakarta: Penerbit PT. Prehallindo.
- [2]. Zhanggishan.dan Zuhul, M. (2005). Prinsip Dasar Elektronika. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [3]. Ahmad, Jayadin. 2007. Eldas Ilmu Elektronika,
- [4]. _____.2015. "Prinsip Cara Kerja Optocoupler", Maman Electro, <https://mamanrehzee.wordpress.com/2010/05/26/perinsip-cara-kerja-optocoupler/> (akses 20 september 2015)
- [5]. Rijono, Yon. (1997). Dasar Teknik Tenaga Listrik Edisi Revisi. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- [6]. Putra, A. E., dan Nugraha,D. (2010). Tutorial Pemograman Mikrokontroler AVR dengan WinAVR GCC (ATMega16/32/853).
- [7]. Susilo, D. (2010). 40 Jam Kupas Tuntas Mikrokontroler MCS51 & AVR. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- [8]. Roy, R.B., dan Amin, R.Md. (2012). Design and Construction of Single Phase Cycloconverter. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)
- [9]. Malvino.1979. Prinsip-Prinsip Elektronik Edisi Kedua. Jakarta: Penerbit Erlangga.