

RANCANG BANGUN KENDALI SEKUEN UNTUK SAMBUNGAN JALA-JALA LISTRIK MENGGUNAKAN *CYCLOCONVERTER*

Yuliadi Erdani, Aris Eko Setiyawan, Maulana Aria Pratama

Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika - Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl. Kanayakan No. 21 Bandung
Jawa Barat 40275, Indonesia
yul_erdani@yahoo.com; yul_erdani@polman-bandung.ac.id

Diterima: 27 Oktober 2010; Direvisi: 10 Desember 2010; Disetujui: 21 Desember 2010;
Terbit online: 24 Desember 2010.

Abstrak

Rangkaian *cycloconverter* yang dikembangkan pada penelitian ini mensimulasikan rangkaian koneksi ke jala-jala listrik dua buah *function generator* sebagai pengganti sumber tegangan AC-nya. *Function generator* pertama digunakan sebagai pengganti gelombang masukan pembangkit PLN dengan referensi frekuensi 50Hz. *Function generator* kedua digunakan sebagai pengganti gelombang masukan pembangkit baru dengan referensi frekuensi mulai dari 10Hz sampai dengan 90Hz. Dengan inisialisasi kondisi frekuensi seperti itu, maka dimungkinkan perubahan frekuensi berupa menaikkan frekuensi dari 10Hz – 40Hz menjadi 50Hz dan penurunan frekuensi dari 60Hz – 90Hz menjadi 50Hz. Rangkaian *cycloconverter* ini menggunakan rangkaian *trigger* untuk mengaktifkan komponen elektroniknya. Rangkaian *trigger* tersebut meliputi rangkaian *trigger* penyulutan thyristor dan rangkaian *trigger* pengaktifan MOSFET. Semua perangkat keras pada rangkaian ini dikendalikan oleh mikrokontroler ATmega 8535 yang mengatur kerja dari rangkaian-rangkaian *trigger* yang dibutuhkan oleh *cycloconverter*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa simulasi rangkaian *cycloconverter* ini dapat mengubah frekuensi, dan menyamakan sudut fasa pada jaringan listrik. Hal ini menunjukkan bahwa *cycloconverter* yang dikembangkan memungkinkan untuk koneksi ke jala-jala listrik.

Kata kunci: *cycloconverter*, koneksi jala-jala listrik, elektronika daya.

Abstract

This developed *cycloconverter* circuit simulates grid connector circuit using two *function generators*, which substitute AC power. The first *function generator* was used to represent input wave from PLN with 50 Hz frequency. The other *function generator* was used to represent input wave from new generator with 10-90 Hz frequency. Such initial condition enabled us to control the frequency increase from 10Hz – 40Hz to 50Hz and decrease from 60Hz – 90Hz to 50Hz. This *cycloconverter* used *trigger* circuit to activate its electrical components. The *trigger* circuit contains *trigger* parts such as thyristor and MOSFET. All hardware components in this circuit were controlled by microcontroller ATmega 8535. This controller manages all *trigger* circuits that were needed by *cycloconverter*. The experiment result shows that the *cycloconverter* was able to modify frequency and phase angle, so that it enabled the connection to the electrical grid.

Key words: *cycloconverter*, electrical grid connection, power electronic.

I. PENDAHULUAN

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][2].

Syarat sinkronisasi adalah tegangan masukan dari pembangkit listrik baru harus sama dengan tegangan jaringan, frekuensi masukan dari pembangkit listrik baru harus sama dengan frekuensi jaringan, demikian juga dengan fasanya, pembangkit listrik baru dengan jaringan harus satu fasa. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah alat untuk menghubungkan jaringan listrik PLN dengan pembangkit baru [1] [3] [4].

Tujuan makalah ini adalah untuk melaporkan hasil pembuatan rangkaian *cycloconverter* yang mensimulasikan rangkaian koneksi ke jala-jala listrik dengan menggunakan dua buah *function generator* sebagai pengganti sumber tegangan AC-nya. *Function generator* pertama digunakan sebagai pengganti gelombang masukan

pembangkit PLN, sedangkan *function generator* kedua digunakan sebagai pengganti gelombang masukan pembangkit baru.

II. ISI MAKALAH

Untuk menunjang penelitian ini dibutuhkan peralatan berupa solder, alat ukur (*oscilloscope*, voltmeter, frekuensi meter dan *cycloconverter*) dan peralatan mekanis untuk membuat penutup dari panelnya. Selain itu juga dibutuhkan perangkat lunak yang mempunyai kemampuan untuk membuat desain skematik rangkaian elektronika. Sedangkan bahannya berupa *Printed Circuit Board (PCB) double layer*, komponen *Transistor-Transistor Logic (TTL* berisi dioda, resistor, kapasitor, trimpot, dan lainnya), vertinax dan *box cover*.

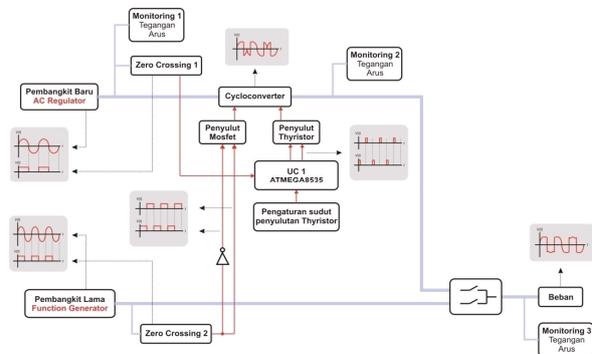
Tahap persiapan meliputi pencarian data dan bahan mengenai *cycloconverter* dan data mengenai rangkaian *trigger* untuk *cycloconverter*, dilakukan dengan cara berselancar di internet, membaca buku literatur dan diskusi.

Pada bagian ini dijelaskan mengenai tahapan/proses pengembangan *cycloconverter*, terlihat pada Gambar 1. Tahap pertama peneliti melakukan analisis situasi yang bersumber dari lapangan dan literatur, dan mendefinisikan kebutuhan yang harus dipenuhi oleh sistem yang akan dibangun. Tahap berikutnya peneliti membuat perencanaan sistem berdasarkan hasil tahap sebelumnya. Selanjutnya peneliti menerjemahkan perencanaan system ke dalam konsep rancangan alat baik perangkat lunak maupun perangkat keras, yang di dalamnya diturunkan menjadi peralatan dan bahan serta perancangan peralatan itu sendiri. Tahap berikutnya adalah implementasi hasil rancangan dalam bentuk pembuatan alat. Di dalam proses pembuatan alat, senantiasa dilakukan uji coba parsial.



Gambar 1. Skema tahap-tahap proses perancangan.

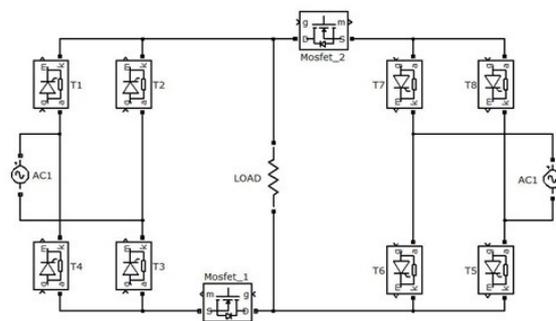
Pada rancangan sistem untuk pembangkit baru menggunakan Regulator AC 50 Hz agar tegangan yang masuk ke dalam *cycloconverter* dapat dikontrol dan pembangkit lama menggunakan *function generator* (GFG-8219A, spesifikasi terlampir), sebagai referensi frekuensi 50 Hz. Gambar 2 menunjukkan arsitektur sistem yang dikembangkan.



Gambar 2. Arsitektur sistem.

Agar keluaran tegangan keluaran dari *cycloconverter* dapat diatur maka digunakanlah thyristor bertipe 25RIA120. Hal yang dimanfaatkan dari thyristor ini adalah penyulutan tegangannya dimana besarnya tegangan yang disulut dapat diatur dengan mengatur sudut penyulutan dari Thyristor dari mikrokontroler.

Untuk mengatur besarnya frekuensi yang akan dihasilkan oleh *cycloconverter* maka digunakanlah Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET), dengan tipe IRF634. Hal yang dimanfaatkan dari MOSFET ini adalah waktu pengaktifan dari masing-masing MOSFET tersebut. Gambar 3 menunjukkan rangkain MOSFET dan thyristor dalam *cycloconverter*.

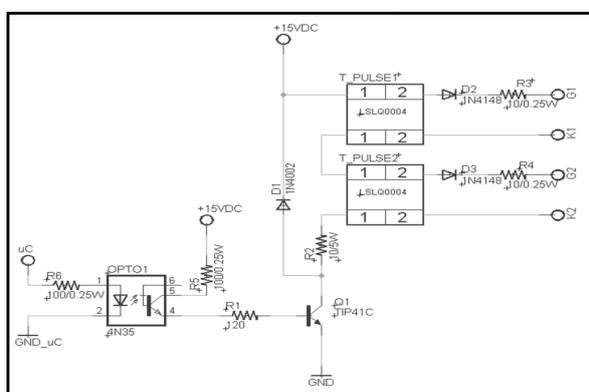


Gambar 3. Rangkaian *cycloconverter* menggunakan thyristor dan MOSFET.

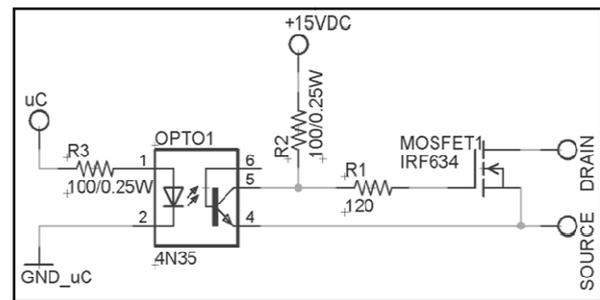
Rangkaian *cycloconverter* terdiri dari dua buah rangkaian penyearah gelombang penuh dengan menggunakan thyristor. Satu rangkaian penyearah pertama berfungsi sebagai penghasil gelombang positif dan satu rangkaian lagi

berfungsi sebagai penghasil gelombang negatif [6]. Besarnya waktu (dalam satuan ms) penyalan antar kedua penyearah ini dapat mempengaruhi kerapatan suatu gelombang yang akan dihasilkan dan mengakibatkan terjadinya perubahan nilai dari frekuensi. Untuk itu digunakan MOSFET sebagai sakelar otomatis yang mengatur waktu pengaktifan dari kedua penyearah ini. thyristor yang digunakan pada pembuatan alat ini adalah thyristor bertipe 25RIA. Thyristor dapat mengurangi tegangan pada sebuah gelombang dengan mengatur sudut penyulutan thyristor itu sendiri [8]. Untuk mengatur sudut penyulutan thyristor tersebut, maka perlu dibuat sebuah rancangan rangkaian yang mampu memberikan *trigger* pada kaki *gate* dari thyristor yang berupa pulsa dengan keluaran arus yang mencukupi untuk men-*trigger* thyristor tersebut. Langkah-langkah atau bagaimana cara rangkaian *cycloconverter* ini bekerja dalam mengubah suatu frekuensi menjadi frekuensi yang baru sesuai dengan yang diinginkan, dapat dilihat pada [9].

Untuk men-*trigger* thyristor diperlukan gelombang pulsa dengan besar arus tertentu. Besar arus *trigger* thyristor tersebut bergantung pada spesifikasi dari thyristor yang digunakan, untuk rancangan ini thyristor yang digunakan bertipe 25RIA yang kaki *gate*-nya dapat ditrigger dengan minimal arus sebesar 60 mA. Pembuatan rangkaian *trigger* thyristor ini menggunakan mikrokontroler sebagai pembangkit pulsa yang nantinya digunakan untuk mengatur sudut penyulutan pada thyristor, terlihat pada Gambar 4. Arus keluaran mikrokontroler dikuatkan oleh *IC optocoupler* LTV-4N35 [7]. Keluaran dari *IC optocoupler* ditempatkan pada kaki emitornya sehingga terjadi penguatan arus pada pulsa. Selain berfungsi sebagai penguat arus IC LTV-4N35 tersebut berfungsi sebagai pengaman/isolator antara rangkaian elektronika dengan rangkaian mikrokontroler.



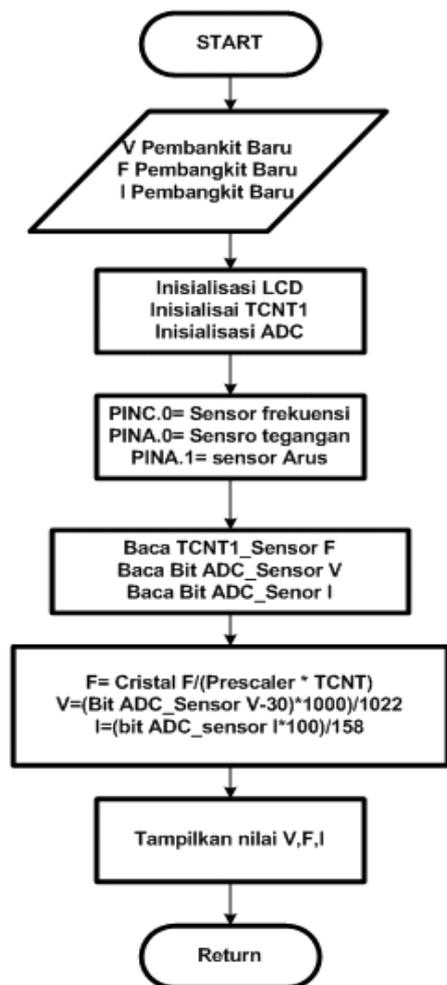
Gambar 4. Rangkaian penyulutan thyristor.



Gambar 5. Rangkaian trigger MOSFET.

Transistor TIP41C dalam rangkaian ini berfungsi sebagai sakelar otomatis yang menghubungkan antara rangkaian keluaran dari *IC optocoupler* dengan rangkaian trafo pulsa [7]. Transistor tipe TIP41C ini digunakan karena transistor ini telah terbukti tangguh di dunia robotika dan mikrokontroler, transistor ini sudah dibuktikan tangguh, baik sebagai sakelar otomatis maupun sebagai penguat. Hasil dari pengolahan pulsa yang dikeluarkan melalui trafo pulsa yang nantinya akan menjadi pulsa *trigger* penyulutan thyristor. Penggunaan trafo pulsa pada rangkaian ini juga berfungsi sebagai pengisolasi antara rangkaian elektronika dengan rangkaian elektronika daya sehingga ketika terjadi arus balik dari tegangan AC yang berlebih maka trafo pulsa saja yang akan rusak terlebih dahulu.

Berbeda dengan thyristor yang pada kaki *gate*-nya harus di-*trigger* dengan besar arus tertentu, maka untuk men-*trigger* MOSFET dapat dilakukan dengan memberikan tegangan dengan besar tertentu, terlihat pada Gambar 5. MOSFET yang digunakan pada rangkaian ini adalah MOSFET bertipe IRF634. Penggunaan MOSFET tipe IRF634 ini dilatarbelakangi karena tegangan masukan yang digunakan adalah sebesar 220 VAC dan tegangan (VDS) yang diberikan kepada Mosfer IRF634 ini maksimal 250 Volt. Tegangan maksimal untuk men-*trigger* MOSFET tipe IRF634 ini adalah ± 20 Volt. Karena mikrokontroler hanya mampu memberikan tegangan keluaran sebesar ± 5 volt maka dari itu pada rangkaian ini digunakanlah *IC optocoupler* LTV-4N35 dengan keluarannya ditempatkan pada kaki kolektor dari *IC optocoupler* tersebut.



Gambar 6. Flowchart program minimum system.

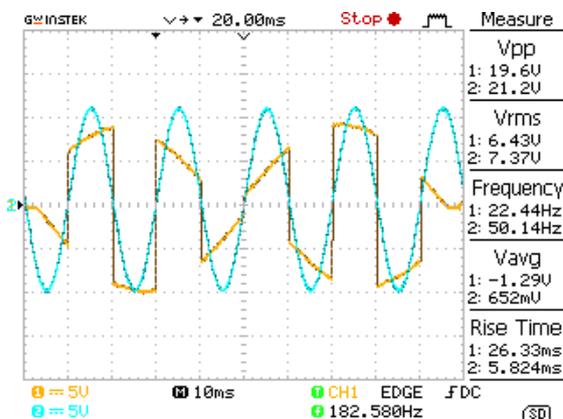
Berbeda dengan perancangan rangkaian trigger penyulutan thyristor yang menggunakan kaki emitor sebagai keluaran tegangannya, IC optocoupler LTV-4N35 pada rangkaian ini berfungsi sebagai penguat tegangan maka dari itu keluaran dari IC optocoupler tersebut ditempatkan pada kaki kolektornya. Tegangan yang dikeluarkan IC optocoupler tersebut selalu mengikuti besar tegangan Vcc yang diberikan, apabila pada rangkaian diberikan tegangan (Vcc) sebesar +10 Volt maka keluarannya pun akan bernilai +10 Volt namun konsekuensinya bentuk pulsa keluarannya akan berkebalikan dengan bentuk pulsa awalnya, misalnya jika bentuk pulsa awal bernilai “1” (high) maka bentuk pulsa keluarannya akan bernilai “0” (low). Sama seperti penggunaan pada perancangan rangkaian trigger penyulutan thyristor, IC optocoupler LTV-4N35 selain berfungsi sebagai penguat tegangan pada rangkaian yang dibuat, IC inipun berfungsi sebagai isolator antara rangkaian mikrokontroler dengan rangkaian elektronika daya.

III. HASIL & ANALISIS PENELITIAN

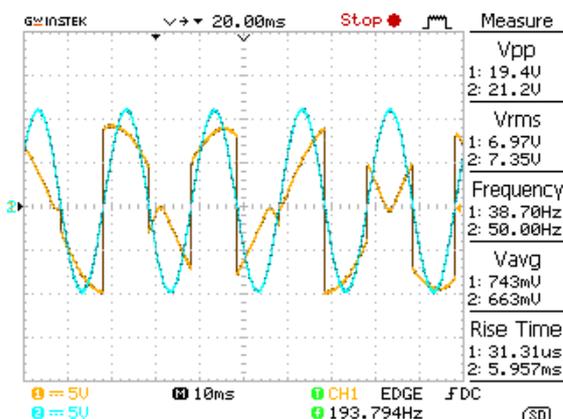
Pada pengujian rangkaian Cycloconverter ini besarnya tegangan pada pembangkit baru dan PLN berada pada besaran nilai yang sama. Frekuensi 50Hz dijadikan referensi frekuensi untuk pembangkit PLN dan frekuensi 10Hz sampai 90Hz adalah frekuensi untuk pembangkit baru.

Dengan inisialisasi kondisi seperti itu, dilakukan penaikan frekuensi dari 10Hz - 40Hz menjadi 50Hz dan penurunan frekuensi dari 60Hz - 90Hz menjadi 50Hz.

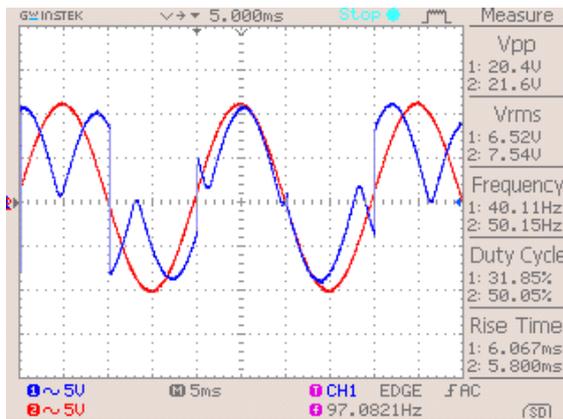
Untuk mengetahui kondisi awal dari nilai tegangan keluaran yang dihasilkan oleh cycloconverter maka fungsi dari thyristor digantikan oleh dioda. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 10.



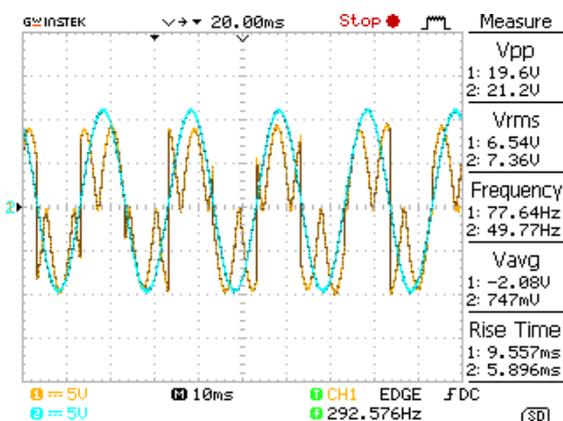
Gambar 7. Gelombang penaikan frekuensi dari 10Hz menjadi 50Hz.



Gambar 8. Gelombang penaikan frekuensi dari 20Hz menjadi 50Hz.

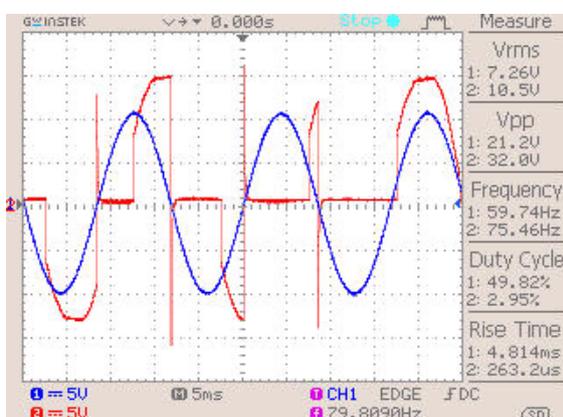


Gambar 9. Gelombang penurunan frekuensi dari 60Hz menjadi 50Hz.



Gambar 10. Gelombang penurunan frekuensi dari 90Hz menjadi 50Hz.

Pada rangkaian *cycloconverter* gelombang masukannya adalah 50 Hz dan akan diubah menjadi 60 Hz berdasarkan nilai referensi frekuensi yang didapatkan dari pembangkit lama yang telah diolah oleh rangkaian pengaktifan MOSFET dan nilai V_{rms} keluarannya dapat diubah berdasarkan nilai referensi penyulutan thyristor. Hasilnya dapat dilihat Gambar 11.



Gambar 11. Gelombang keluaran *cycloconverter* (merah) terhadap gelombang keluaran pembangkit lama (biru).

Dari data tersebut di atas dapat dilihat perubahan frekuensi yang terjadi. Dengan cara mengatur waktu pengaktifan MOSFET, frekuensi gelombang bisa berubah dari 50Hz menjadi 60Hz dan sebagainya. Waktu pengaktifan MOSFET diatur oleh sensor frekuensi (*zero crossing detector*) apabila sensor frekuensi mendeteksi bahwa frekuensi pada gelombang adalah 60Hz maka waktu yang dibutuhkan dalam membuat frekuensi 60Hz adalah:

$$f = 60\text{Hz} \Rightarrow T = 1/f \\ = 1/60 \text{ s} \\ = 16,67 \text{ ms}$$

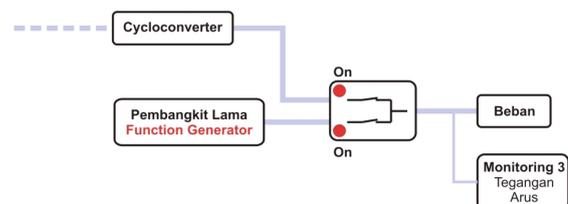
Waktu yang dibutuhkan untuk membuat satu gelombang baru adalah 16,67 ms. Pada rangkaian digunakan dua buah MOSFET yang aktif secara bergantian, maka untuk satu buah MOSFET waktu pengaktifannya sebesar 8,335 ms. Selain itu dengan menggunakan bantuan sensor frekuensi dapat diketahui pula bahwa sudut fasa juga dapat disinkronkan.

Dari hasil percobaan dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan rata-rata pada gelombang keluaran. Terdapat dua penyebab penurunan nilai tegangan tersebut yaitu: rugi-rugi daya penyakelaran akibat penggunaan MOSFET dan Rumus keluaran dari gelombang penyearah dioda adalah:

$$V_{out} = 0,9 V_{in}$$

Sehingga nilai tegangan rata-rata keluaran selalu lebih rendah dari nilai tegangan rata-rata masukannya.

Apabila fungsi dari Dioda digantikan oleh Thyristor maka nilai tegangan rata-rata gelombang keluaran akan cenderung lebih berkurang lagi sehingga untuk percobaan ini rangkaian *cycloconverter* tidak menggunakan Thyristor tapi menggunakan Dioda.

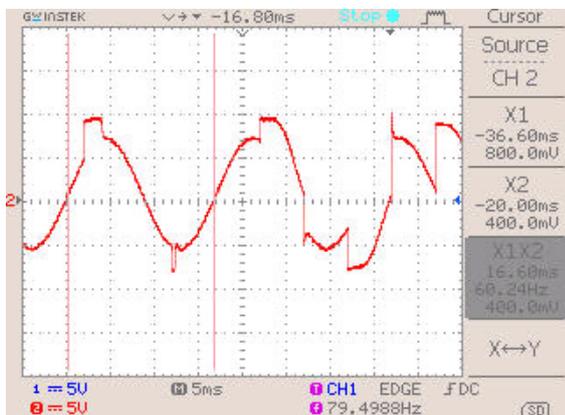


Gambar 12. Pengaturan sudut penyulutan thyristor.

Proses sinkronisasi dapat dilakukan dengan tiga proses sekuen yaitu frekuensi dari pembangkit listrik baru sama dengan frekuensi pembangkit lama, tegangan dari pembangkit listrik baru sama dengan tegangan pembangkit

lama, dan sudut fasa dari pembangkit listrik baru sama dengan pembangkit lama sehingga sefasa. Ketika semua proses sekuen sudah terpenuhi maka koneksi antara pembangkit listrik lama dan pembangkit baru dapat dilakukan. Diagram untuk proses koneksi dapat dilihat pada gambar 12.

Hasil dari koneksi antara pembangkit dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Gelombang keluaran hasil koneksi antar pembangkit.

Dari Gambar 13 dapat dilihat gelombang yang dihasilkan tidak membentuk gelombang sinus sempurna, karena gelombang tersebut telah mengalami penggabungan antara gelombang yang dihasilkan oleh *cycloconverter* dengan gelombang dari pembangkit lama. Dapat dilihat pulsa frekuensi yang dihasilkan memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi pembangkit lama.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Rangkaian *cycloconverter* hasil modifikasi dapat menurunkan dan menaikkan suatu frekuensi tertentu pada jaringan listrik menjadi frekuensi yang ingin dicapai dan menjadikan urutan fasa yang tidak sefasa menjadi sefasa dengan menggunakan bantuan sensor frekuensi (*zero crossing detector*) yang hasil dari pembacaan sensor tersebut menjadi titik acuan pengaktifan MOSFET.

Rangkaian *cycloconverter* yang dibuat pada tegangan pembangkit yang sama tidak mengakibatkan terjadinya kenaikan tegangan melainkan terjadinya kekurangan besar tegangan, hal ini disebabkan karena pada rangkaian *cycloconverter* ini tidak menggunakan thyristor tetapi dioda.

Dengan proses kendali sekuen pada *Cycloconverter* maka sinkronisasi dapat dilakukan, sehingga memungkinkan untuk menghubungkan pembangkit listrik ke jala-jala listrik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Sdr Sodipta dan Sdr Yudi, alumni AE Polman Bandung angkatan tahun 2007 yang telah membantu kelancaran kegiatan penelitian ini, serta kepada proyek I-MHERE melalui program Research Grant atas biaya yang diberikan untuk kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Willis, H. L., "Power distribution planning reference book", Marcel Dekker, Inc., 2nd ed., 2004.
- [2] Short, T. A., "Electric power distribution handbook," CRC Press, 2004.
- [3] Lander, Cyril W., "Power electronics" (3rd ed.), London: McGraw-Hill, 1993. ISBN 0-07-707714-8.
- [4] Thomas P. Hughes, "Networks of power: electrification in western society" 1880-1930, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1983. ISBN 0-8018-2873-2.
- [5] Grigsby, L. L., et al., "The electric power engineering handbook", USA: CRC Press, 2001. ISBN 0-8493-8578-4.
- [6] Dorf, Richard C., *The electrical engineering handbook*, Boca Raton: CRC Press, 1993. ISBN 0-8493-0185-8
- [7] *Sistem Pengendali Elektronika Daya* [Online]. Available: <http://www.scribd.com/doc/31754304/Sistem-pengendali-Elektronika-Daya>. diakses 4/12/2010.
- [8] Kadek Fendy Sutrisna, (November 2008) *Cycloconverter : AC-AC Konverter Penurun Frekuensi* [Online]. Available: <http://konversi.wordpress.com/2008/11/20/cyclo-converter-ac-ac-konverter-penurun-frekuensi/>, diakses 4/12/2010.
- [9] Anoop Mathew, [Online]. Available: <http://www.anoopmathew.110mb.com/files/> diakses 4/12/2010.