

# Perancangan dan Analisis Back to Back Thyristor Untuk Regulasi Tegangan AC Satu Fasa

Indah Pratiwi Surya<sup>#1</sup>, Hafidh Hasan<sup>\*2</sup>, Rakhmad Syafutra Lubis<sup>#3</sup>

<sup>#</sup>Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala  
Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh, Indonesia

<sup>1</sup>pratiwiisurya@gmail.com

<sup>3</sup>hafidh.hasan@unsyiah.ac.id

<sup>2</sup>rakhmadslubis@unsyiah.ac.id

**Abstrak**— *Thyristor* merupakan bahan semikonduktor yang digunakan sebagai saklar dengan prinsip kerja hampir sama seperti dioda, namun dilengkapi dengan *gate* yang berfungsi untuk mengatur sudut penyalannya sesuai dengan yang dibutuhkan, sehingga tegangan keluaran dapat divariasikan. Tegangan keluaran tersebut dapat diaplikasikan pada rangkaian *dimmer*, dimana rangkaian tersebut merupakan rangkaian yang berfungsi sebagai pengontrol keredupan lampu. Tipe *thyristor* yang digunakan adalah *back to back thyristor* yang fungsi utamanya sebagai regulator. Pada rangkaian *thyristor* ini digunakan rangkaian *zero crossing detector* yang berfungsi sebagai pendeteksi titik persilangan pada nilai nol yang nantinya titik ini menjadi acuan untuk membangkitkan sinyal *trigger*. Sinyal *trigger* merupakan sinyal keluaran dari rangkaian kontrol yang digunakan sebagai pemicu sudut penyalan dari *thyristor*. Berdasarkan hasil penelitian, nilai tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian *back to back thyristor* dapat dikontrol dengan mengatur sudut penyalan pada *thyristor* dari  $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$ . Nilai tersebut berbanding terbalik dengan nilai tegangan yaitu 220 volt sampai 0 volt. Dari hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai sudut penyalan, maka nilai tegangan yang dihasilkan semakin rendah, begitu juga sebaliknya.

**Kata Kunci**— *Thyristor*, *Trigger*, Kontrol Sudut Penyalan, Regulasi Tegangan, *Dimmer* Lampu.

## I. PENDAHULUAN

*Thyristor* merupakan bahan semikonduktor yang digunakan sebagai saklar dengan prinsip kerja hampir sama seperti dioda, namun dilengkapi dengan *gate* yang berfungsi untuk mengatur sudut penyalannya sesuai dengan yang dibutuhkan, sehingga tegangan keluaran dapat divariasikan. Sudut penyalan (*firing angle*) adalah waktu setelah tegangan masukan mulai menjadi positif sampai *thyristor* dipicu. *Thyristor* dapat diaplikasikan sebagai pemanas industri, *dimmer* lampu, pengontrolan kecepatan motor dan pengontrol magnet AC.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pengontrolan tegangan AC dengan menggunakan *thyristor* SCR. *Thyristor*

SCR dirangkai secara *back to back* sehingga dapat berkerja pada tegangan positif dan tegangan negatif. *Zero crossing detector* sebagai pendeteksi perpotongan gelombang sinus pada tegangan AC dengan membaca titik persilangan nol, sehingga dapat memberikan sinyal acuan kepada sinyal *trigger* sebagai pemicu *back to back thyristor*. Pengontrolan tegangan AC satu fasa ini akan diaplikasikan pada rangkaian *dimmer* lampu dengan cara mengendalikan iluminasi pencahayaan pada sebuah ruangan, sehingga ruangan mendapatkan pencahayaan yang cukup, tidak berlebihan ataupun kekurangan yang dapat menimbulkan ketidaknyamanan. Pengendalian pencahayaan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penghematan energi listrik dan waktu operasi sebuah lampu.

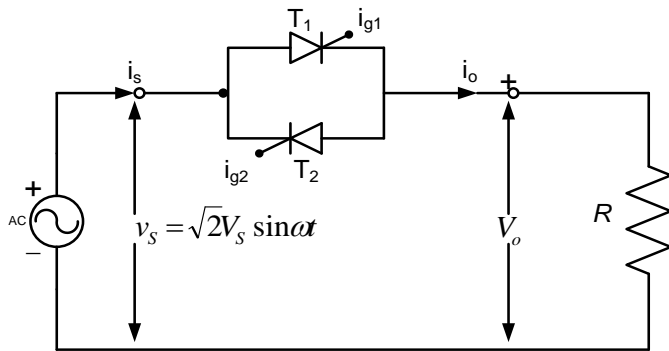
## II. DASAR TEORI

### A. Regulasi Tegangan AC Satu Fasa Dengan Back to Back Thyristor

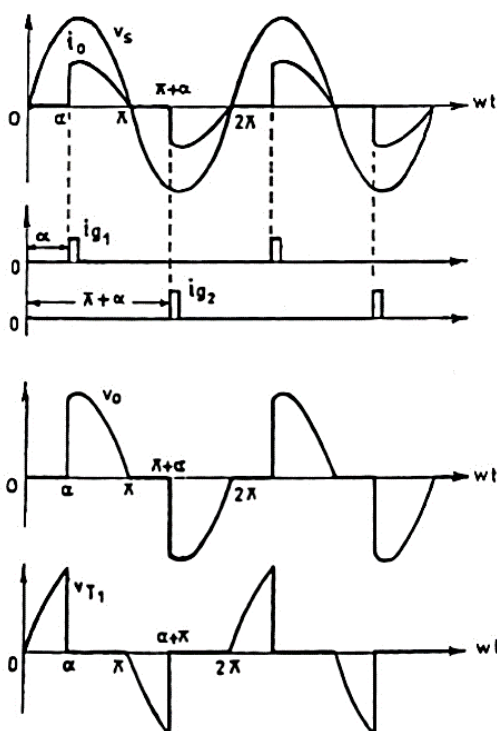
Regulasi tegangan merupakan pengaturan tegangan AC yang berfungsi mengubah nilai tegangan tanpa merubah frekuensi. Konverter ini mengontrol tegangan, arus dan daya rata-rata yang dikirim ke beban AC dari sumber AC. Terdapat beberapa bentuk regulasi tegangan diantaranya regulasi elektromekanikal, *Rheostat*, dan regulator aktif [1].

Prinsip dari kontrol sudut fasa untuk gelombang penuh satu fasa, daya yang mengalir ke beban dikontrol dengan menunda sudut pemicuan (*firing angle*) dari *thyristor*  $T_1$  dan sudut pemicuan *thyristor*  $T_2$ . Selama setengah siklus positif dari tegangan masuk, anoda pada *thyristor*  $T_1$  relatif positif terhadap katoda sehingga *thyristor*  $T_1$  dalam kondisi bias maju. Ketika *thyristor*  $T_1$  dipicu pada  $\omega t = \alpha$ , *thyristor*  $T_1$  akan tersambung dan tegangan masuk akan muncul ke beban. Ketika tegangan masuk mulai negatif pada  $\omega t = \pi$ , anoda *thyristor*  $T_1$  akan negatif terhadap katodanya dan *thyristor*  $T_1$  dalam keadaan bias mundur sehingga  $T_1$  akan padam. Selanjutnya pada saat tegangan masuk mulai negatif pada  $\omega t = \pi$ , maka anoda *thyristor*  $T_2$  relatif positif terhadap katoda, dan *thyristor* berada dalam kondisi bias maju. Sehingga ketika *thyristor*  $T_2$  dipicu pada  $\omega t = \pi + \alpha$ , *thyristor*  $T_2$  akan tersambung dan tegangan masuk juga akan muncul ke beban, kemudian ketika tegangan masuk mulai positif lagi, maka

thyristor  $T_2$  akan padam, begitu seterusnya, kembali seperti siklus awal. Bentuk gelombang tegangan masuk dan keluar ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian Back to Back Thyristor



Gambar 2 Output dan input dari pengontrol tegangan AC satu fasa

Beberapa dasar observasi tentang sirkuit diatas:

- SCR tidak mengantar secara simultan
- Tegangan beban sama dengan tegangan sumber baik ketika SCR dalam kondisi on. Tegangan beban akan bernilai nol apabila kedua SCR off.
- Tegangan switch  $V_{sw}$  adalah nol ketika SCR on dan sama dengan tegangan sumber maupun tidak dalam kondisi off.
- Arus rata-rata pada sumber dan beban bernilai nol jika kedua SCR dalam kondisi on untuk beberapa jarak waktu. Arus rata-rata pada tiap SCR tidak nol sebab tidak searah dengan arus SCR

- Arus rms pada tiap SCR ada  $1/\sqrt{2}$  wktu dari arus beban rms jika kedua SCR berada pada batas waktu tertentu.

Kemudian dari bentuk gelombang pada Gambar 2 menunjukan bentuk dari gelombang pengontrolan tegangan satu fasa dengan beban resistif. Terdapat bentuk gelombang pada rangkaian dimmer lampu *incandescent*. Maka tegangan sumber:

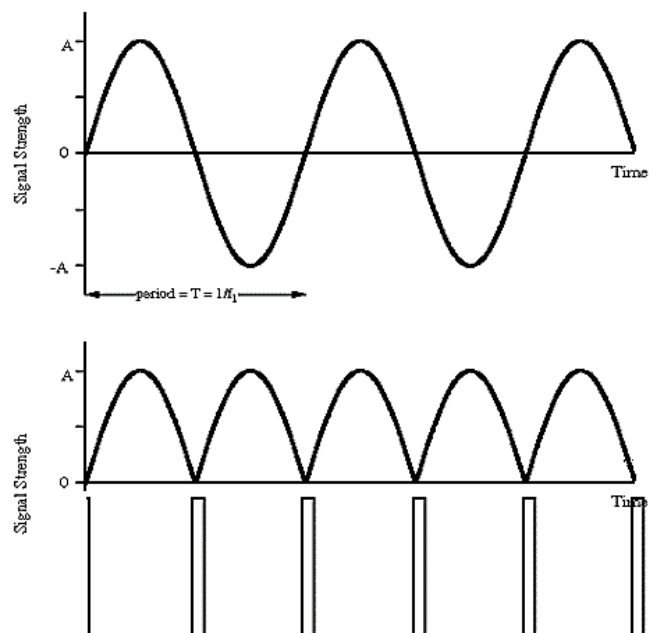
$$V_s(\omega t) = V_m \sin \omega t \quad (2.1)$$

Jika  $V_s = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$  adalah tegangan masuk dan sudut pemucuan dari thyristor  $T_1$  dan  $T_2$  adalah  $\alpha_2 = \pi + \alpha_1$ , maka tegangan keluar rms dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_o(rms) = V_s \left[ \frac{1}{\pi} \left( \pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (2.2)$$

### B. Zero Crossing Detector

Metode *zero crossing detector* adalah metode paling umum untuk mengetahui frekuensi/periode suatu gelombang. Metode ini berfungsi untuk menentukan frekuensi suatu gelombang dengan cara mendeteksi banyaknya *zero point* pada suatu rentang waktu. *Zero crossing detector* adalah rangkaian yang berfungsi untuk mendeteksi perpotongan gelombang sinus pada tegangan AC dengan *zero point* tersebut, sehingga dapat memberikan sinyal acuan saat dimulainya pemucuan triac. Dengan menggunakan rangkaian *zero crossing detector* ini, maka dapat mendeteksi zero point sekaligus mengubah suatu sinyal sinusoidal (*sine wave*) menjadi sinyal kotak (*square wave*). Perpotongan titik nol yang dideteksi adalah pada saat peralihan dari siklus positif menuju siklus negatif dan peralihan dari siklus negatif menuju siklus positif [2].



Gambar 3 Output zero crossing detector

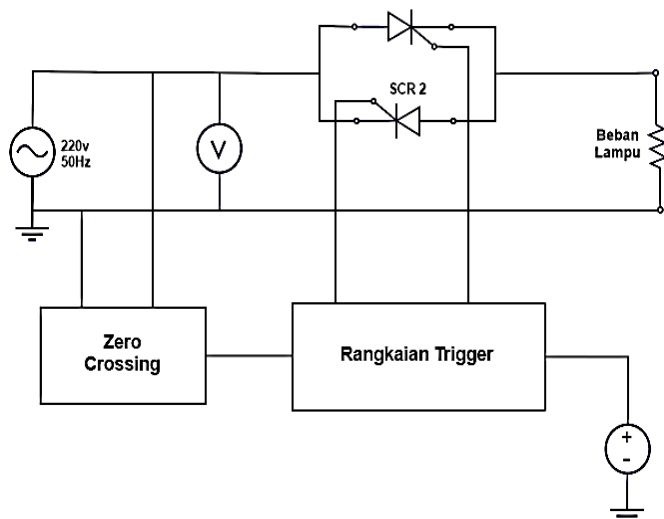
C. Controller

Mikrokontroler ATmega328P merupakan sebuah chip IC yang memiliki *flash memory* sebesar 32 Kb (0,5 Kb digunakan sebagai *bootloader*) dan RAM 2 Kb. Mikrokontroler ATmega328P sudah tersedia dalam *board* Arduino Uno. Pada Arduino Uno, mikrokontroler telah dilengkapi sistem minimum dengan *clock* sebesar 16MHz. Bentuk fisik dari *board* Arduino uno dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Arduino uno, pin berjumlah 20 pin, dimana 6 pin digunakan sebagai *analog input* dan 14 pin sebagai I/O digital, 6 diantaranya merupakan *output* PWM (*Pulse Width Modulation*) [3].

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Rangkain Back to Back Thyristor

Sistem rangkaian ini berkerja dengan input *zero crossing detector* dan ADC potensiometer yang diterima mikrokontroler ATmega328P. Adapun blok diagram rangkaian *back to back thyristor* sebagai berikut.



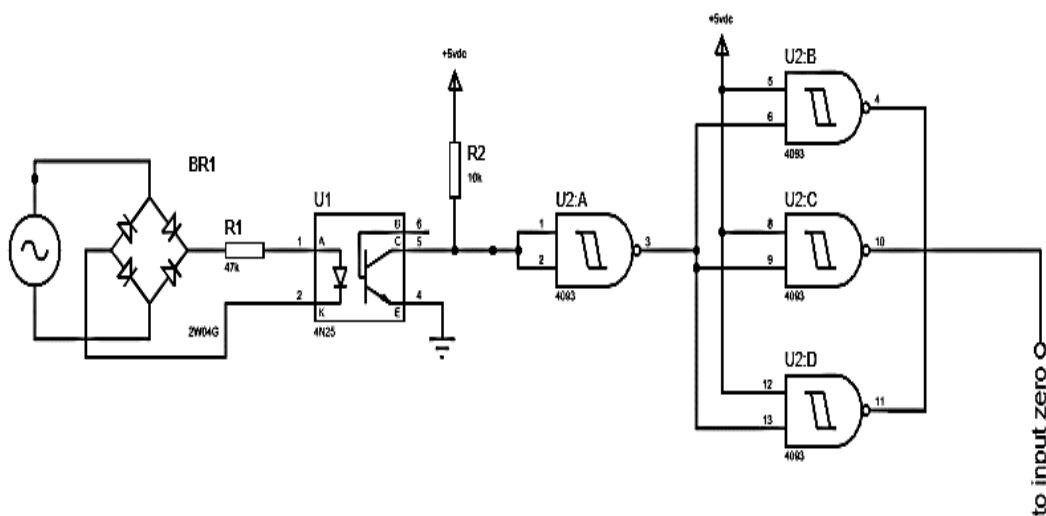
Gambar 4 Blok diagram rangkaian *back to back thyristor*

Blok diagram pada Gambar 4, menjelaskan sumber tegangan AC 220 v digunakan sebagai tegangan sumber dari rangkaian tersebut. *Zero crossing detector* membaca sinyal keluaran dari gelombang dengan bentuk pulsa sebagai persilangan titik nol, kemudian masuk ke rangkaian pengontrol sudut penyalan menggunakan mikrocontroller Atamega328 dan menggunakan program bahasa C. Keluaran dari mikrocontroller terhubung dengan *gate* dari SCR dan sudut penyalan bias diatur dengan menggunakan potensiometer.

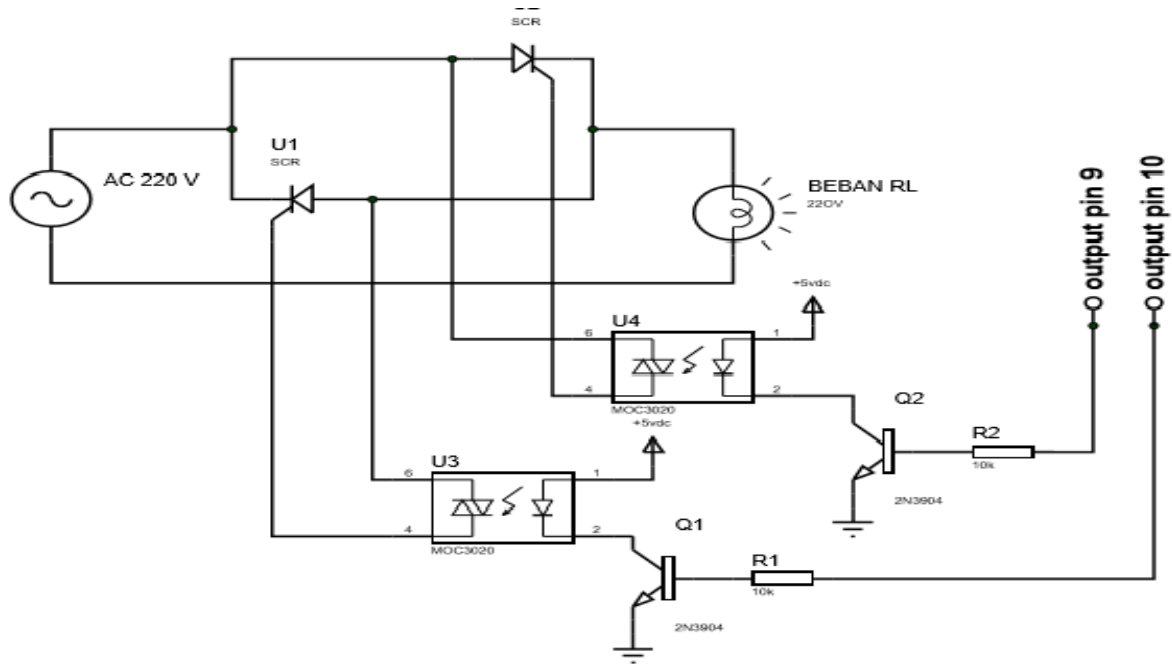
Gambar 5, menjelaskan rangkaian *zero crossing detector* yang dirancang untuk mendeteksi gelombang sinus saat melewati titik tegangan nol yang digunakan sebagai acuan saat memberikan sinyal *trigger* pada gerbang *thyristor*. Rangkaian *zero crossing detector* dirancang dengan menggunakan *Diode Bridge* dan rangkaian *inverter* yang terdapat pada IC 4093. IC 4093 memiliki 14 pin yang terdiri dari 6 pasang *inverter* dan tegangan suplai  $\pm 5$  Volt pada kaki  $V_{cc(+)}$  dan  $V_{cc(-)}$ .

Untuk aplikasi pembangkitan sinyal *trigger* ini hanya 2 buah Pin yang digunakan sebagai penghasil sinyal *square*, yaitu Pin 9 dan 10, yang mana keluaran sinyal pada pin tersebut dihubungkan pada osiloskop. Pin 2 digunakan sebagai masukan dari rangkaian *zero crossing detector*.

Selanjutnya, rangkaian pengontrol tegangan AC yang ditunjukkan pada Gambar 6 terdiri dari 2 buah *thyristor* C106, dirancang agar menghasilkan tegangan keluaran yang berbeda dengan mengatur sudut penyalan *thyristor* dari 0° sampai 180°. Sinyal *trigger* dari Pin 9 Arduino di h bungkan pada T1 melalui transistor 2N 3904 dan optokopler MOC 3020 yang bekerja pada siklus positif. Sinyal *trigger* dari Pin 10 dihubungkan pada T2 melalui transistor 2N 3904 dan optokopler MOC 3020 yang bekerja pada siklus negatif. Rangkaian ini dihubungkan pada sumber 220 V dengan beban  $R_L$ .



Gambar 5 Rangkaian *zero crossing detector*



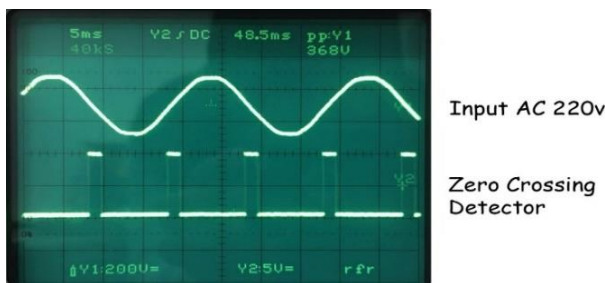
Gambar 6 Rangkaian daya regulator tegangan AC 1 fasa

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

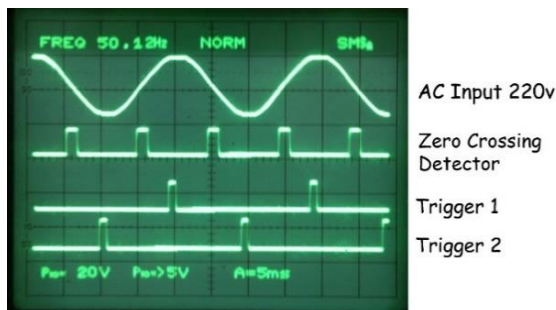
Data hasil pengujian dari percobaan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

A. Data Pengujian

Adapun data pengujian yang diperoleh dari zero crossing detector, sinyal trigger dan regulator tegangan AC adalah sebagai berikut.



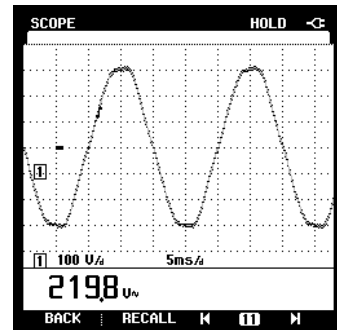
Gambar 7 Hasil uji alat zero crossing detector



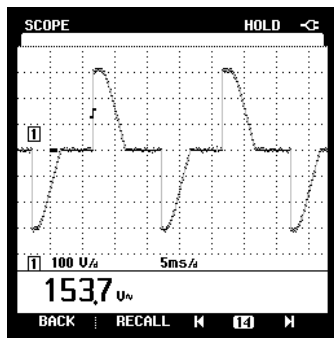
Gambar 8 Hasil uji alat sinyal trigger pada sudut 90°

Pada hasil pengujian rangkaian zero crossing detector menggunakan sensor tegangan yang terhubung dengan osiloskop untuk melihat keluaran gelombang dari optocoupler 4N25. Gelombang sinusoidal dari tegangan jala-jala dengan frekuensi 50 Hz akan dipicu oleh optocoupler 4N25 yang menyebabkan sumber picuan dari tegangan DC 5V menjadi bergelombang sesuai dengan persilangan sudut fasa pada sumber tegangan 220V. Ditunjukkan oleh Gambar 7. Sedangkan pada Gambar 8, terdapat gelombang input AC 220V dengan sinyal trigger. Sinyal trigger tersebut digunakan pada T<sub>1</sub> dan T<sub>2</sub> yang dapat digeser dengan sudut penyalan sebesar 90°. Sinyal trigger yang dihasilkan pada simulasi dan eksperimen tersebut bernilai sama. Hal tersebut membuktikan bahwa tidak ada nilai error yang terjadi.

Bentuk gelombang tegangan keluaran yang diperoleh dari rangkaian pengontrol tegangan AC satu fasa, untuk sudut alpha yang berbeda, dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai perbandingan antara nilai tegangan keluaran hasil simulasi, nilai hasil eksperimen dan nilai hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.



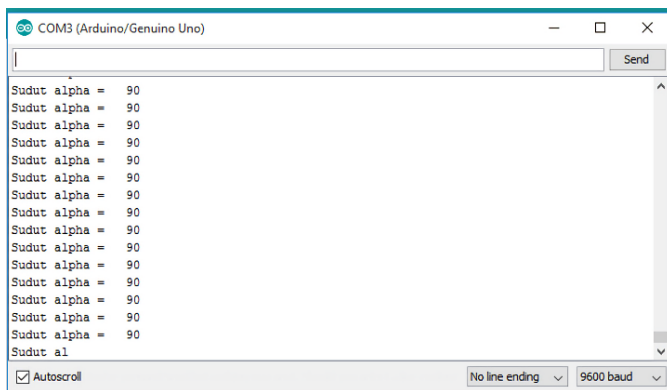
(a)



(b)

Gambar 9 Bentuk gelombang keluaran tegangan (a) Pada sudut 0° (b) Pada sudut 90°

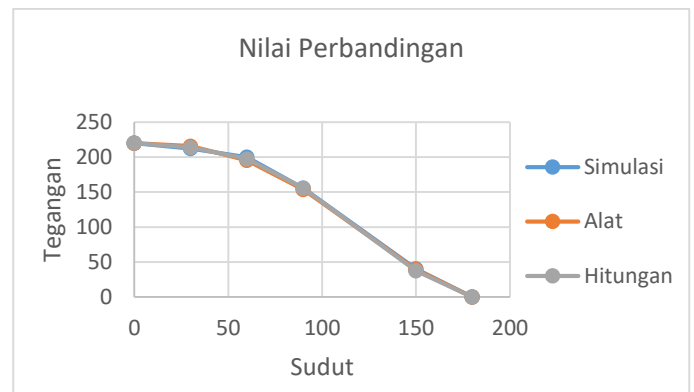
B. Tampilan Program Arduino



Gambar 10 Pembacaan pengaturan sudut alpha 90° pada Arduino menggunakan potensiometer

TABEL I  
DATA PENGUJIAN

No	Simulasi		Alat		Hitungan		
	Sudut	Vin (V)	Vout (V)	Vin (V)	Vout (V)	Vin (V)	Vout (V)
1.	0°	220	220	220	219.8	220	220
2.	30°	220	212.3	220	215.8	220	213.9
3.	60°	220	200	220	195.4	220	197.4
4.	90°	220	155.5	220	153.7	220	155.5
5.	150°	220	40.3	220	39.4	220	37.53
6.	180°	220	0	220	0	220	0



Gambar 10 Grafik nilai perbandingan

Berdasarkan Tabel 1, nilai yang didapat dari data pengujian memiliki selisih yang kecil. Data yang diperoleh antara simulasi, alat, dan hitungan hanya memiliki sedikit perbedaan. Hal itu menunjukkan bahwa nilai *error* yang terjadi masih kecil dan dapat ditoleransi. Sedangkan untuk grafik respon dapat dilihat pada Gambar 10. Nilai perubahan tegangan terhadap sudut fasa terlihat bahwa respon grafik tidak linier. Hal tersebut disebabkan karena komponen Resistor Variabel (VR) yang digunakan untuk pengaturan perubahan sudut fasa tidak memiliki perubahan yang linier pula. Selain faktor komponen VR,  $V_{rms}$  juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik gelombang sinus sempurna, dimana pergeseran setiap sudut fasa respon  $V_{rms}$  juga tidak linier dan tidak konstan, sehingga grafik nilai keluaran tegangan yang dihasilkan tidak linier sempurna

C. Hasil dan Analisa

Berdasarkan hasil pengujian, maka didapat data hasil percobaan. Dari data tersebut, kemudian dianalisis untuk memperoleh kesimpulan. Data percobaan hasil simulasi yang didapat adalah sebagai berikut.

TABEL III  
DATA PERCOBAAN SIMULASI

No.	Sudut	Vin	Vout
1.	0°	220V	220V
2.	30°	220V	212.3V
3.	60°	220V	200V
4.	90°	220V	155.5V
5.	150°	220V	40.3V
6.	180°	220V	0V

Berdasarkan Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa saat nilai sudut meningkat, maka nilai tegangan *output* menurun. Hal itu disebabkan karena sudut alpha mempengaruhi waktu tunda perpotongan sudut, sehingga ketika sudut bernilai 0° maka tidak terjadi perpotongan dalam gelombang *output* tegangan.

Dengan demikian, nilai tegangan output yang dihasilkan tidak mengalami perubahan dengan tegangan *input*. Sedangkan pada sudut  $90^{\circ}$  terjadi perpotongan sebesar 50%, sehingga tegangan *output* yang dihasilkan mengalami penurunan sebesar waktu tunda yang diberikan,

TABEL IIIII  
DATA PENGUJIAN ALAT

No.	Sudut	Vin	Vout
1.	$0^{\circ}$	220V	219.8V
2.	$30^{\circ}$	220V	215.8V
3.	$60^{\circ}$	220V	195.4V
4.	$90^{\circ}$	220V	153.7V
5.	$150^{\circ}$	220V	39.4V
6.	$180^{\circ}$	220V	0V

Berdasarkan Tabel 3, tegangan output pada sudut  $0^{\circ}$  mengalami sedikit penurunan, karena adanya *losses*. Hal itu disebabkan gangguan yang terjadi pada rangkaian. Nilai perbandingan antara simulasi dan pengujian alat memiliki selisih dalam tahap wajar yang dapat dibuktikan dalam galat sebagai berikut.

$$\% \text{ Galat} = \left| \frac{\text{Hitung} - \text{ukur}}{\text{hitung}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ Galat} = \left| \frac{220 - 219.8}{220} \right| \times 100\% = 0.09\%$$

Dari persentase galat diatas, dapat disimpulkan bahwa persentase kesalahan dari pengujian alat sangat rendah. Dengan demikian, alat yang dirancang masih dapat berjalan sesuai yang diharapkan.

TABEL IVV  
DATA PERHITUNGAN

No.	Sudut	Vin	Vout
1.	$0^{\circ}$	220V	220V
2.	$30^{\circ}$	220V	213.90V
3.	$60^{\circ}$	220V	197.4V
4.	$90^{\circ}$	220V	155.56V
5.	$150^{\circ}$	220V	37.53V
6.	$180^{\circ}$	220V	0V

Berdasarkan Tabel 4, maka data perhitungan yang diperoleh pada tabel diatas menunjukkan nilai yang hampir

sama dengan simulasi. Hal ini disebabkan tidak adanya *losses* pada simulasi tersebut.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, nilai tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian *back to back thyristor* dapat dikontrol dengan mengatur sudut penyalaaan pada *thyristor* dari  $0^{\circ}$  -  $180^{\circ}$ . Nilai tersebut berbanding terbalik dengan nilai tegangan yaitu 220 volt sampai 0 volt. Pada rangkaian *trigger*, acuan awal untuk perpotongan sudut telah didapatkan dan dapat diatur sesuai sudut yang diinginkan.

Perbandingan yang diperoleh dari ketiga data percobaan, simulasi, pengujian, dan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa nilai yang diperoleh tidak terlalu berbeda dengan persentase kesalahan sebesar 0,09%. Ketika sudut sebesar  $15^{\circ}$ , maka nilai tegangan yang diperoleh sebesar 218,8 volt. Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai sudut penyalaaan, maka nilai tegangan yang dihasilkan semakin rendah, begitu juga sebaliknya.

## REFERENSI

- [1] M. H.Rashid, *Power Electronics Circuits, Devices, And Applications*, Third Edition, Pearson Education International, 2004.
- [2] A. Reza, *Rancang Bangun Pengendali Motor Induksi Satu Phase*, Depok, 2010.
- [3] . Y. Nugraha, *Motor Stepper Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535 Pada Perancangan Sistem Kendali Otomatis Tetesan Cairan Infus Pada Pasien.*, Medan, 2011.