

Rancang Bangun Sistem Alat Praktikum SCR di Laboratorium Elektronika Daya dengan Pengendali Arduino

Fendi Rahmad¹, Sunu Pradana², Abdul Hamid Kurniawan³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Dr. Ciptomangunkusumo, Samarinda 75131, INDONESIA

Abstract— Silicon Controlled Rectifier (SCR) is one of the components studied in the Power Electronics course at the Department of Electrical Engineering, Samarinda State Polytechnic. Therefore, in the SCR learning process, a practicum module is needed as a learning support tool. The practicum modules in the Power Electronics laboratory are prone to damage and are difficult to repair, so updating tools with simpler maintenance and operation needs to be done. In the module that has been designed, the operation of the SCR is carried out by detecting the zero crossing point on the sinusoidal waveform of the source voltage. Detection is carried out by the zero cross detector module which then sends pulses to the Arduino Mega. The pulse will be used by Arduino Mega to send a trigger pulse signal to the SCR gate leg. The delay time of the trigger pulse is set by the program in the Arduino to get the desired triggering angle. In the test, the SCR module was operated as a single-phase half-wave controlled rectifier, a single-phase full-wave controlled rectifier with a center-tap transformer, a bridge system single-phase full-wave controlled rectifier, and a three-phase half-wave controlled rectifier. As a result, the triggering angle is inversely proportional to the value of the output voltage and current parameters. As the value of the trigger angle is increased, the value of the output voltage and current of the controlled rectifier will decrease.

Intisari- *Silicon Controlled Rectifier* (SCR) adalah salah satu komponen yang dipelajari dalam mata kuliah Elektronika Daya di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda. Karena itu, dalam proses pembelajaran SCR modul praktikum diperlukan sebagai peralatan penunjang pembelajaran. Modul praktikum yang ada di laboratorium Elektronika Daya rentan mengalami kerusakan dan sulit untuk diperbaiki sehingga pembaruan alat dengan pemeliharaan dan pengoperasian yang lebih sederhana perlu dilakukan. Pada modul yang telah dirancang bangun, pengoperasian SCR dilakukan dengan mendeteksi titik *zero crossing* pada gelombang sinusoidal dari tegangan sumber dengan modul *zero cross detector* yang akan

mengirim sinyal menuju Arduino Mega saat titik *zero crossing* terdeteksi ke Arduino Mega yang akan mengirim sinyal pulsa pemicuan ke kaki gate SCR setelah terlebih dahulu melewati waktu tunda sesuai besar sudut pemicuan yang sudah diatur. Dari pengujian modul SCR saat dioperasikan sebagai penyearah terkendali satu fase setengah gelombang, penyearah terkendali satu fase gelombang penuh dengan transformator center-tap, penyearah terkendali satu fase gelombang penuh sistem jembatan dan penyearah terkendali tiga fase setengah gelombang besar sudut pemicuan berbanding terbalik dengan nilai parameter tegangan dan arus keluarannya. Saat nilai sudut pemicuan dinaikkan, nilai tegangan dan arus keluaran dari penyearah terkendali akan menurun.

Kata kunci: SCR, Elektronika Daya, Sudut Pemicuan, *Zero Cross*, Waktu Tunda, Arduino Mega

I. PENDAHULUAN

Elektronika daya adalah salah satu mata kuliah yang diajarkan di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda yang membahas tentang penggunaan berbagai komponen elektronika daman konversi dan pengendalian daya listrik. Penggunaan komponen elektronika daya bertujuan mempermudah konversi dan pengendalian untuk memperoleh hasil keluaran daya yang diinginkan dengan akurat. Penggunaan komponen elektronika daya pun semakin meluas berkat kemajuan teknologi. Oleh karena itu elektronika daya penting untuk dipelajari dan dipahami oleh mahasiswa Jurusan Teknik Elektro.

Salah satu komponen yang dibahas dalam elektronika daya adalah *Silicon Controlled Rectifier* (SCR) yang pada prinsipnya mirip seperti diode namun dengan besar tegangan keluarannya dapat diatur dari minimum hingga maksimum. Tegangan keluaran yang dapat diatur sesuai keinginan menjadikan SCR banyak digunakan khususnya di industri. Oleh karena itu praktikum SCR pada laboratorium elektronika daya sangat penting guna memberikan pemahaman yang lebih baik akan prinsip kerja dan karakteristik komponen serta mendukung proses pembelajaran dari mata kuliah elektronika daya.

Permasalahan yang dihadapi dalam proses pembelajaran adalah peralatan yang digunakan pada Laboratorium Elektronika Daya Politeknik Negeri Samarinda saat ini rentan mengalami kerusakan. Kerusakan alat praktikum dapat terjadi baik karena kesalahan saat mengoperasikan alat maupun karena

¹Mahasiswa, Politeknik Negeri Samarinda, Jl. Dr. Ciptomangunkusumo Samarinda 75131 INDONESIA (tlp: 0541-270588; fax:0541-260355; e-mail: fendirahmad.16642022@gmail.com)

²Dosen, Politeknik Negeri Samarinda, Jl. Dr. Ciptomangunkusumo Samarinda 75131 INDONESIA (tlp: 0541-270588; fax:0541-260355; e-mail: sunu.pradana@polnes.ac.id)

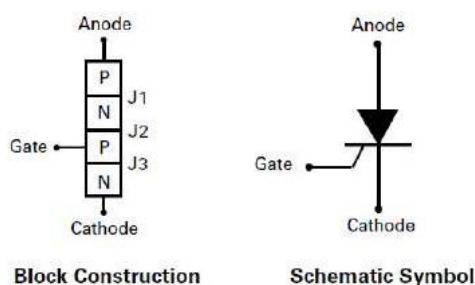
³Dosen, Politeknik Negeri Samarinda, Jl. Dr. Ciptomangunkusumo Samarinda 75131 INDONESIA (tlp: 0541-270588; fax:0541-260355; e-mail: abdulhamidkurniawan@polnes.ac.id)

faktor umur alat. Pada saat terjadi kerusakan peralatan yang ada relatif lebih sulit diperbaiki dan berpotensi dapat menghambat proses belajar. Sedangkan mahasiswa dituntut mampu belajar mandiri yang mana memerlukan peralatan praktikum yang memadai. Karena alasan itulah maka pembaruan praktikum diperlukan untuk memastikan proses belajar dapat berlangsung dengan lebih baik. Atas dasar itulah modul praktikum yang diharapkan memiliki sistem yang lebih sederhana dari yang sebelumnya akan penulis rancang dan buat sehingga apabila terjadi masalah pada alat saat praktikum, alat lebih mudah diperbaiki dan tidak akan menghambat proses belajar.

II. LANDASAN TEORI

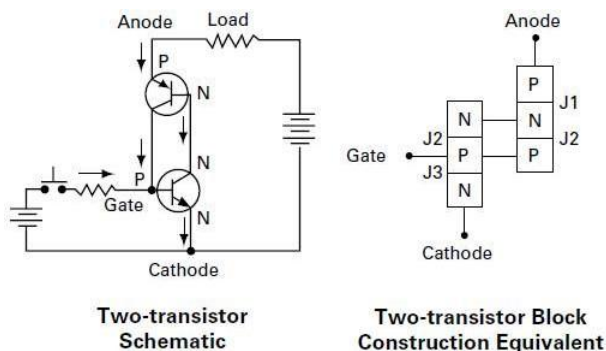
A. Silicon Controlled Rectifier (SCR)

Konstruksi blok sederhana dari sebuah SCR dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Konstruksi blok SCR [1]

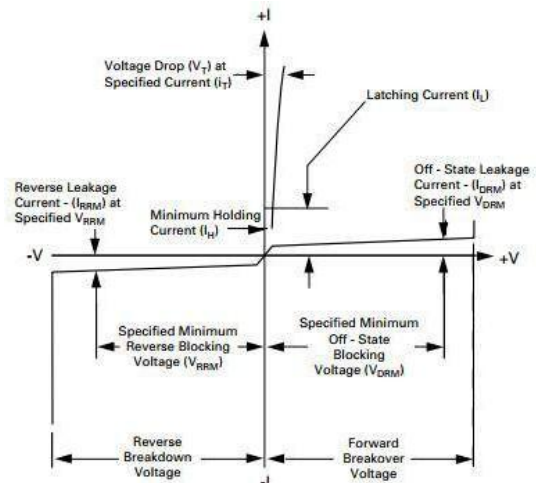
SCR sebagai komponen PNPJ juga sering dianalogikan sebagai sepasang transistor seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Analogi SCR dengan sepasang transistor [1]

Saat arus *gate* yang cukup diaplikasikan ke basis transistor NPN, hubungan antara kedua transistor mengakibatkan terjadinya aksi regeneratif. Arus bocor normal sangat rendah sehingga h_{FE} gabungan pada *feedback amplifier* kedua transistor yang terhubung kurang dari satu, juga menjaga rangkaian pada kondisi off. Pulsa positif sesaat diaplikasikan

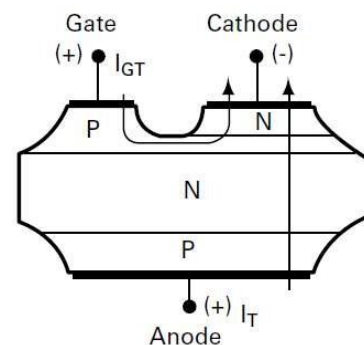
pada bias *gate* transistor NPN hingga konduksi yang mana mengakibatkan bias transistor PNP menjadi konduksi. Nilai h_{FE} yang sesaat lebih besar dari satu mengakibatkan kedua transistor yang terhubung mengalami saturasi. Pada kondisi saturasi, arus yang melewati transistor cukup untuk menjaga nilai h_{FE} lebih besar dari satu. Rangkaian akan tetap pada kondisi on hingga “dimatikan” dengan mengurangi arus anode ke katode sehingga besar nilai h_{FE} lebih kecil dari satu dan regenerasinya menghilang. Batas arus anode inilah yang disebut arus *holding* SCR [1]. Karakteristik operasi SCR dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Karakteristik operasi SCR [1]

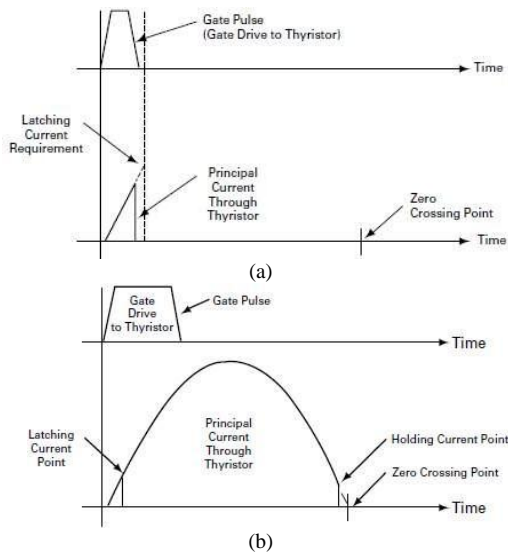
Dalam pengoperasiannya, ada tiga parameter yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. *Gating, thyristor* memerlukan sinyal *gate* positif dengan mengacu pada polaritas katode. Agar *thyristor* mencapai kondisi *latching*, arus anode (I_T) harus melewati batas arus *latching* (I_L). Setelah *latching*, *thyristor* akan tetap aktif sampai dimatikan ketika arus anode ke katodanya turun di bawah arus *holding* (I_H) [2].



Gambar 4 Aliran arus pada SCR [2]

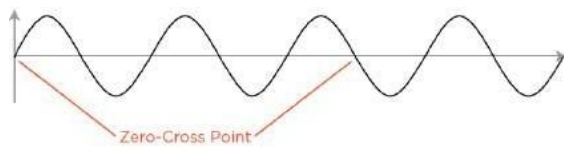
2. *Latching*, besar arus utama yang diperlukan untuk menjaga kondisi *thyristor* tetap pada kondisi on segera setelah terjadi *switching* dari kondisi off ke kondisi on dan sinyal *trigger* telah dihilangkan disebut arus *latching* (I_L) [2].
3. *Holding*, Nilai arus utama minimum yang diperlukan untuk menjaga *thyristor* pada kondisi on disebut arus *holding* (I_H). Besar arus *holding* akan selalu lebih kecil dari besar arus *latching*. Tetapi semakin sensitif komponen, maka semakin mendekati pula besar nilai arus *latching* dan arus *holding* [2].



Gambar 5 Karakteristik latching dan holding pada thyristor saat kondisi : (a) tidak mengalami switching, dan (b) saat mengalami switching [2]

B. Zero Crossing

Zero crossing adalah titik dimana tanda fungsi matematis berubah dari positif ke negatif maupun sebaliknya, umumnya dianalogikan dengan berpotongnya garis fungsi terhadap sumbu grafik (nilai nol). Pada arus bolak-balik, *zero crossing* adalah titik dimana tidak ada tegangan atau besar tegangan pada titik tersebut bernilai nol. Di setiap siklus gelombang sinusoidal terdapat dua titik *zero crossing*. Dalam pengoperasian SCR, *zero crossing* digunakan sebagai titik acuan dalam memulai proses pemicuan serta penentuan besar sudut tunda pemicuan.



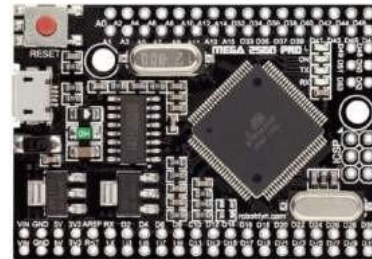
Gambar 6 Titik *zero crossing* pada gelombang sinusoidal [3]

C. Arduino Mega 2560

Arduino adalah platform elektronik *open-source* yang berdasar pada *hardware* dan *software* yang mudah digunakan. Papan Arduino dapat diperintah sesuai keinginan dengan

mengirimkan serangkaian perintah ke mikrokontroler pada papan. Untuk melakukan hal tersebut diperlukan bahasa pemrograman Arduino dan perangkat lunak Arduino (IDE atau *Integrated Development Environment*) [4].

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler yang menggunakan chip mikroprosesor ATmega2560. Arduino Mega memiliki 54 pin digital *input/output* (yang mana 15 diantaranya dapat digunakan sebagai pin *Pulse Width Modulation* (PWM)), 16 pin input analog, 4 UART (serial port untuk *hardware*), osilator kristal 16 MHz, port USB, *jack power*, header ISCP, dan sebuah tombol reset [4].

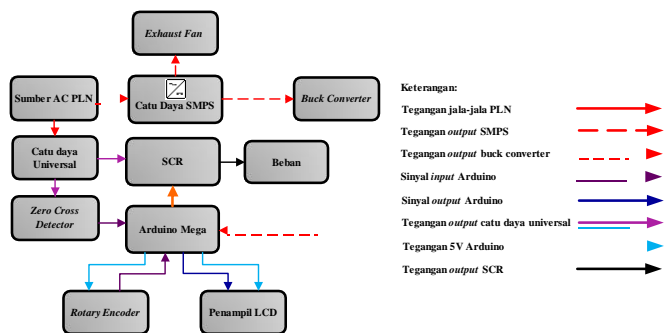


Gambar 7 Arduino Mega 2560 [5]

III. METODOLOGI PERANCANGAN

A. Gambaran Umum Sistem

Gambaran umum sistem dibuat untuk mempermudah dalam perancangan hingga pembuatan modul praktikum SCR. Adapun gambaran umum sistem dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8 Gambaran umum sistem

B. Perancangan Sistem Rangkaian Penyearah Terkendali

Dalam perancangan sistem rangkaian penyearah terkendali, besar nilai dan jenis beban, besar tegangan sumber dan praktikum yang akan dilakukan harus ditentukan terlebih dahulu. Untuk beban yang digunakan adalah resistor dengan nilai 100 ohm dan dua induktor yang terhubung seri dengan masing-masing bernilai 22,7 mH dan 25,7 mH. Sedangkan untuk tegangan sumber yang digunakan maksimum sebesar 50 V_{L-N} untuk praktikum satu fase dan 100 V_{L-N} untuk praktikum tiga fase. langkah yang dilakukan antara lain :

1. Perhitungan dan Simulasi Percobaan

Parameter pebanding dari percobaan dilakukan dengan dua cara, yaitu perhitungan dan simulasi. Parameter yang dihitung antara lain tegangan rata-rata, tegangan rms, arus rata-rata dan arus rms. Contohnya pada percobaan satu fase terkendali setengah gelombang persamaan perhitungan parameter yang digunakan adalah:

a. Tegangan rata-rata

$$V_{avg} = \frac{V_m}{2} (1 + \cos \alpha) \tag{1}$$

b. Tegangan rms

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \tag{2}$$

c. Arus rata-rata

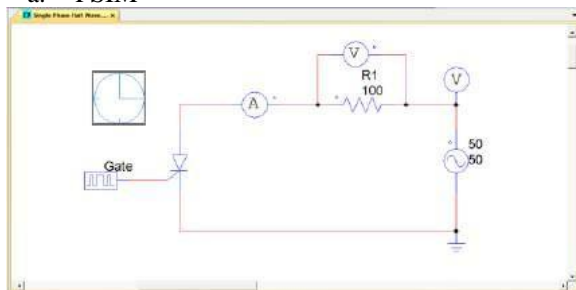
$$I_{avg} = \frac{I_m}{2} \tag{3}$$

d. Arus rms

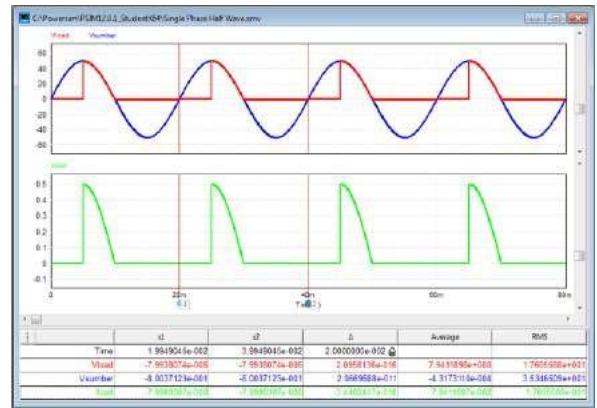
$$I_{rms} = \frac{I_m}{2} \tag{4}$$

Simulasi percobaan dilakukan dengan menggunakan dua perangkat lunak, PSIM dan LTSpice. Simulasi ini dilakukan dengan mengatur sudut pemucuan sebesar 90°. Hasil dari simulasi ditampilkan pada Gambar 9 sampai Gambar x berikut.

a. PSIM

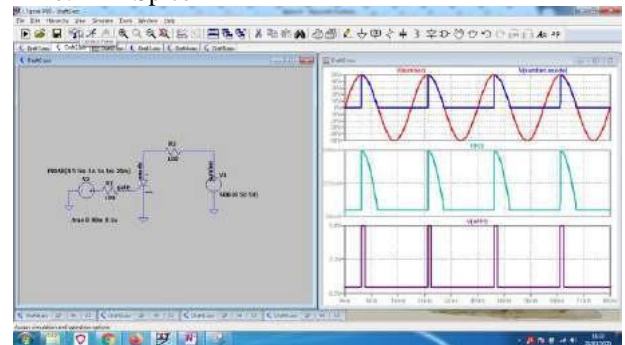


Gambar 9 Rangkaian simulasi PSIM

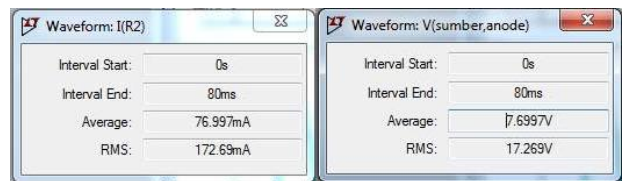


Gambar 10 Bentuk gelombang parameter hasil simulasi PSIM

b. LTSpice



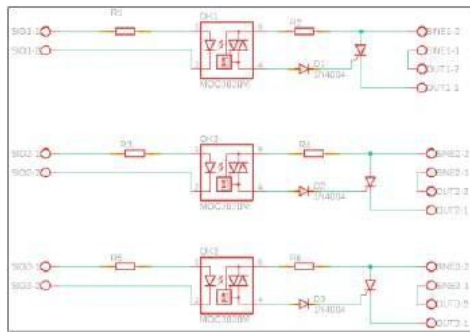
Gambar 11 Simulasi rangkaian dan bentuk gelombang keluaran dengan LTSpice



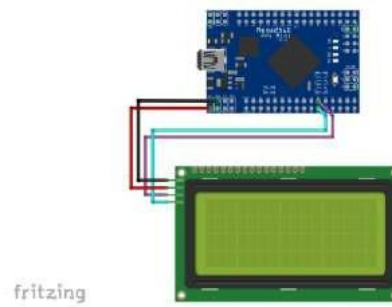
Gambar 12 Hasil parameter pengukur pada simulasi LTSpice

2. Perancangan Rangkaian Gating SCR

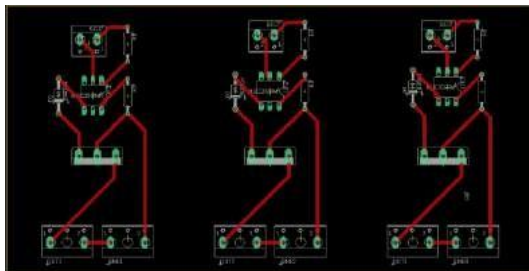
Perancangan rangkaian gating SCR dilakukan dengan tujuan memastikan besar arus yang masuk ke kaki gate dari SCR sesuai dengan nilai gating, latching dan holding dari komponen yang digunakan. Dalam pengoperasiannya diperlukan pemisah antara rangkaian utama dan rangkaian gating dikarenakan level tegangan yang berbeda. Untuk pemisah antara rangkaian utama dan rangkaian gating digunakan komponen opto-isolator.



Gambar 13 Skematik rangkaian pemicuan SCR



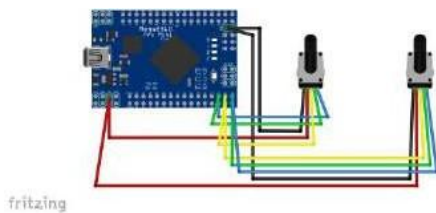
Gambar 16 Perancangan rangkaian LCD I2C



Gambar 14 Skema PCB rangkaian pemicuan SCR

3. Perancangan Rangkaian *Rotary Encoder*

Pada modul praktikum ini *rotary encoder* digunakan sebagai kontrol masukan dari pengendalian pada sistem menu dan pengaturan besar sudut fase pemicuan dari SCR.

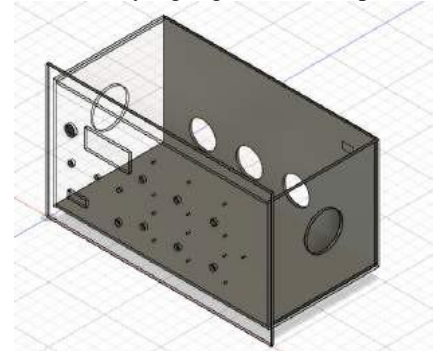


Gambar 15 Perancangan rangkaian *rotary encoder*

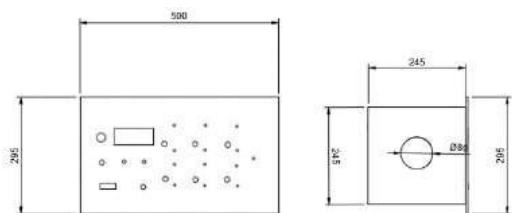
4. Perancangan Penampil LCD

Pada rancang bangun alat praktikum SCR, untuk tampilan antar muka digunakan LCD 20x4 dengan menggunakan modul tambahan I2C yang berfungsi sebagai alat komunikasi antara LCD 20x4 dan papan Arduino, juga untuk mengurangi jumlah pin yang digunakan papan Arduino untuk bisa berkomunikasi dengan LCD. Pada LCD 20x4 ini akan ditampilkan menu pemilihan bentuk rangkaian yang akan dikerjakan dan parameter besar sudut pemicuan dari SCR. Skema rangkaian dapat dilihat pada Gambar 16 berikut.

5. Perancangan *Box* atau Wadah Modul Praktikum
- Perancangan *box* atau wadah dari modul praktikum SCR bertujuan untuk menentukan ukuran *box* dan tata letak dari komponen yang akan diletakkan di *box*. Perancangan *box* dari modul SCR yang dibuat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Fusion360 dari Autodesk. Material yang digunakan dalam pembuatan *box* ini adalah mika akrilik dikarenakan mudah dalam pembuatannya serta dapat menunjukkan tampilan visual dari komponen-komponen yang terdapat di dalam modul praktikum karena mika akrilik yang digunakan transparan.



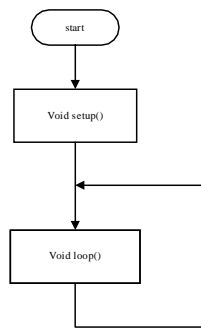
Gambar 17 Visualisasi telemetrik dari *box* modul praktikum



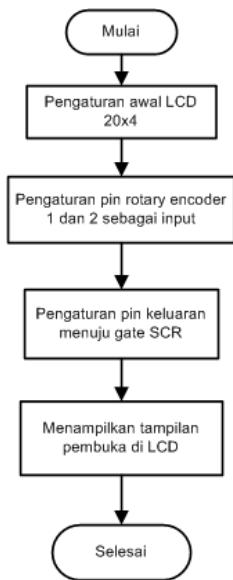
Gambar 18 Sketsa dimensi dari *box* modul praktikum

C. Diagram Alir Program

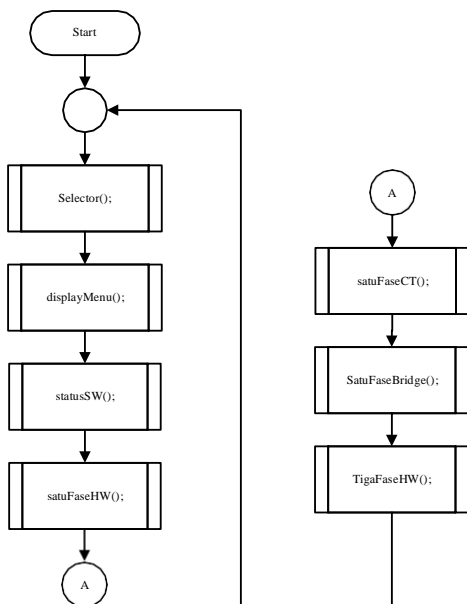
Diagram alir pemrograman dibuat untuk mempermudah dalam menjelaskan alur kerja dari program yang dibuat. Diagram alir pemrograman pada papan Arduino dapat dilihat pada Gambar 19 berikut.



(a)



(b)

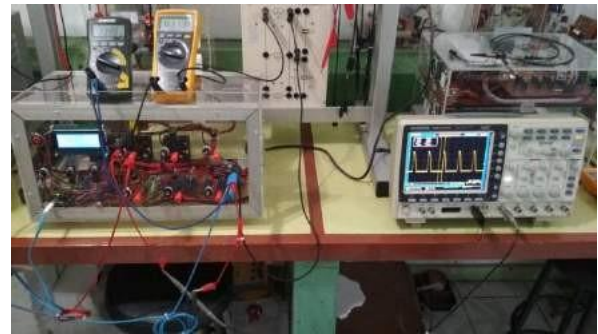


(c)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Modul SCR dengan Percobaan 1

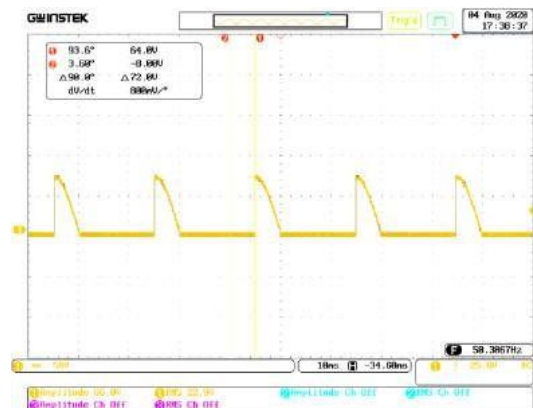
Pada pengujian percobaan 1 ini modul SCR dioperasikan sebagai penyearah terkendali satu fase setengah gelombang. Pengujian ini dilakukan untuk melihat tegangan keluaran dari penyearah terkendali satu fase setengah gelombang saat diberi beban. Beban yang digunakan adalah resistor dengan nilai 100 Ω. Hasil pengujian percobaan 1 dapat dilihat pada gambar 20.



(a)

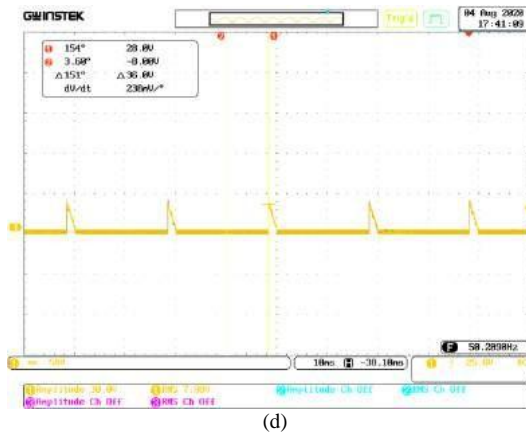


(b)

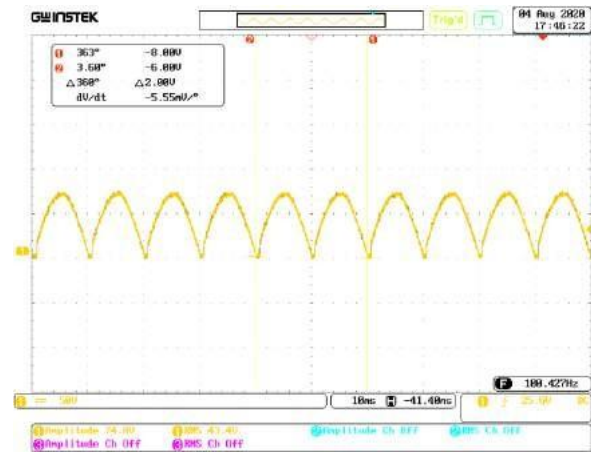


(c)

Gambar 19 Diagram alir pemrograman Arduino (a) Diagram alir utama, (b) Diagram alir fungsi void setup(), dan (c) Diagram alir fungsi void loop()



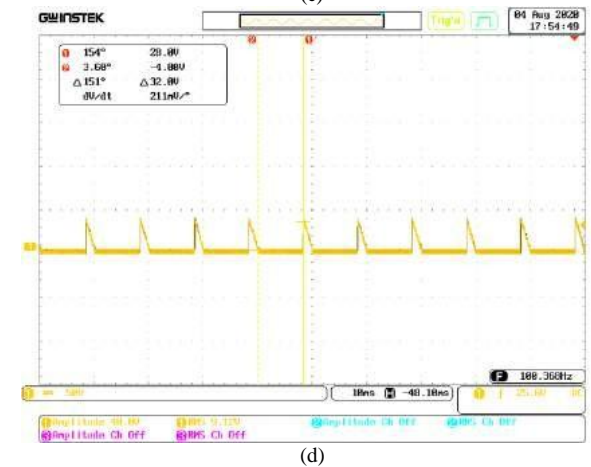
(d)



(b)



(c)



(d)

Gambar 20 Pengujian modul praktikum dengan percobaan 1, (a) Gambar rangkaian, (b) sudut fase 0°, (c) sudut fase 90°, (d) sudut fase 150°

TABEL 1
PENGUKURAN PERCOBAAN 1

No	Vin (V)	α (°)	V _{o avg} (V)	V _{o rms} (V)	I _{o avg} (A)	I _{o rms} (A)
1	50 _{L-N}	0	21,80	31,4	0,221	0,350
2		90	11,47	22,9	0,117	0,292
3		150	1,67	7,90	0,017	0,064

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa besar sudut pemunculan berbanding terbalik terhadap nilai tegangan dan arus keluaran baik rata-rata maupun rms dari percobaan 1, dimana semakin besar nilai sudut pemunculan maka tegangan dan arus keluaran dari rangkaian akan semakin kecil.

B. Pengujian Modul SCR dengan Percobaan 2

Pada pengujian ini modul SCR dioperasikan sebagai penyearah terkendali satu fase gelombang penuh dengan transformator *center-tap*. Percobaan ini dilakukan untuk melihat bentuk gelombang tegangan keluaran dari rangkaian penyearah terkendali satu fase gelombang penuh dengan transformator *center-tap* saat sudut pemuncuannya diubah. Pada percobaan digunakan beban resistor 100 Ω . Hasil pengujian percobaan 2 dapat dilihat pada Gambar 21 berikut.



(a)

Gambar 21 Pengujian modul praktikum dengan percobaan 2, (a) Gambar rangkaian, (b) sudut fase 0°, (c) sudut fase 90°, (d) sudut fase 150°

TABEL 2
PENGUKURAN PERCOBAAN 2

No	Vin (V)	α (°)	V _{o avg} (V)	V _{o rms} (V)	I _{o avg} (A)	I _{o rms} (A)
1	50 _{L-N}	0	43,50	48,6	0,442	0,495
2		90	23,03	35,5	0,234	0,363
3		150	3,36	9,13	0,035	0,092

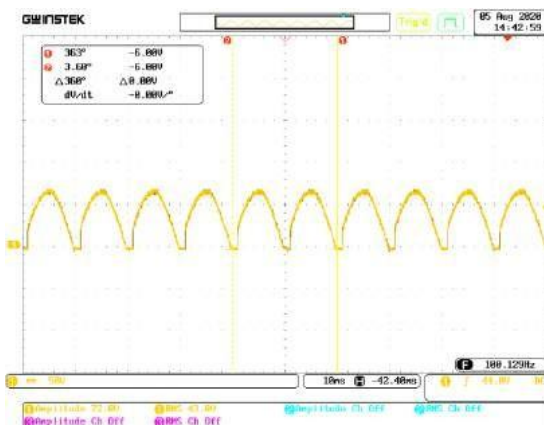
Dari pengujian percobaan 2 dapat dilihat bahwa besar sudut pemuncian berbanding terbalik terhadap nilai tegangan dan arus keluaran baik rata-rata maupun rms dari percobaan 2, dimana semakin besar nilai sudut pemuncian maka tegangan dan arus keluaran dari rangkaian akan semakin kecil.

C. Pengujian Modul SCR dengan Percobaan 3

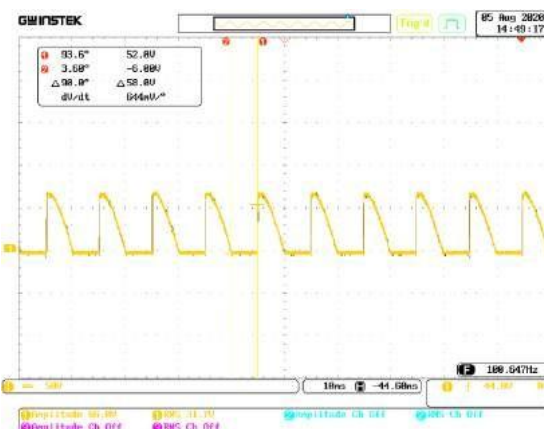
Pada pengujian ini modul SCR dioperasikan sebagai penyearah terkendali satu fase gelombang penuh sistem jembatan. Percobaan ini dilakukan untuk melihat bentuk gelombang tegangan keluaran dari rangkaian penyearah terkendali satu fase gelombang penuh sistem jembatan saat sudut pemuncuannya diubah ketika diberi beban. Pada percobaan ini jenis beban yang digunakan adalah resistor 100 Ω. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 22 berikut.



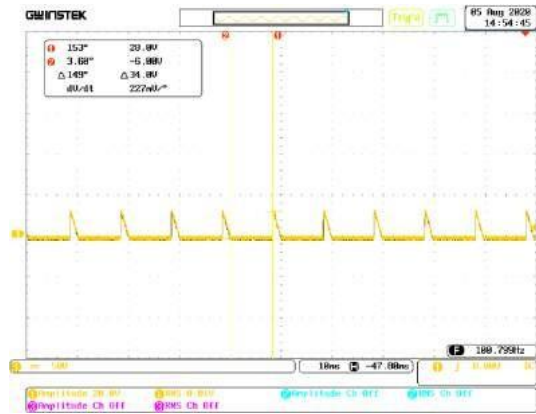
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 22 Pengujian modul praktikum dengan percobaan 3, (a) Gambar rangkaian, (b) sudut fase 0°, (c) sudut fase 90°, (d) sudut fase 150°

TABEL 3
PENGUKURAN PERCOBAAN 3

No	V _{in} (V)	α (°)	V _{O avg} (V)	V _{O rms} (V)	I _{O avg} (A)	I _{O rms} (A)
1	50 _{L-N}	0	41,70	43,8	0,424	0,484
2		90	22,56	36,25	0,227	0,356
3		150	3,02	20,55	0,032	0,085

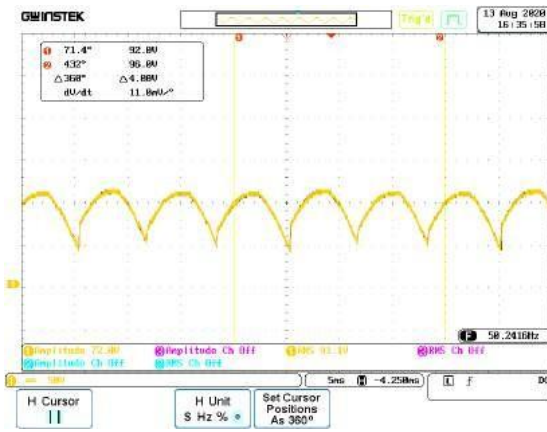
Dari pengujian percobaan 3 dapat dilihat bahwa besar sudut pemuncian berbanding terbalik terhadap nilai tegangan dan arus keluaran baik rata-rata maupun rms dari percobaan 3, dimana semakin besar nilai sudut pemuncian maka tegangan dan arus keluaran dari rangkaian akan semakin kecil.

D. Pengujian Modul SCR dengan Percobaan 4

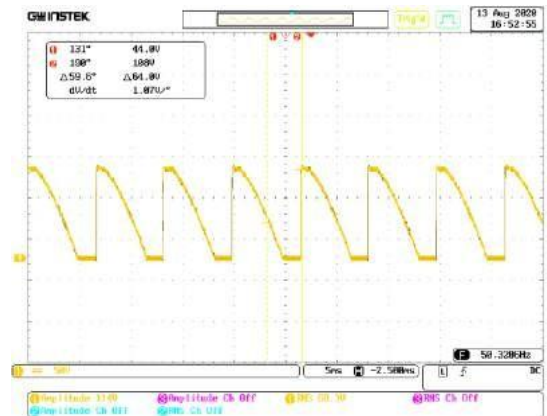
Pada pengujian ini modul SCR dioperasikan sebagai penyearah terkendali tiga fase setengah gelombang. Pengujian ini dilakukan untuk melihat gelombang tegangan keluaran dari penyearah terkendali tiga fase setengah gelombang saat diberi beban. Beban yang digunakan pada pengujian ini adalah resistor 100 Ω. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 23 berikut.



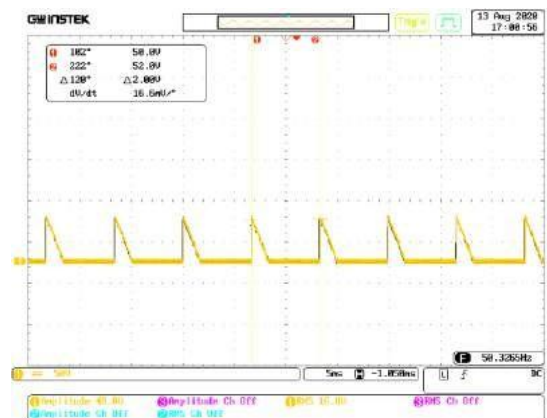
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 23 Pengujian modul praktikum dengan percobaan 4, (a) Gambar rangkaian, (b) sudut fase 0°, (c) sudut fase 90°, (d) sudut fase 150°

TABEL 4
PENGUKURAN PERCOBAAN 4

No	V _{in} (V)	α (°)	V _{O avg} (V)	V _{O rms} (V)	I _{O avg} (A)	I _{O rms} (A)
1	80 _{L-N}	0	90,20	91,50	0,907	0,924
2		90	52,70	68,10	0,533	0,684
3		150	7,39	16,60	0,075	0,166

Dari pengujian percobaan 4 dapat dilihat bahwa besar sudut pemunculan berbanding terbalik terhadap nilai tegangan dan arus keluaran baik rata-rata maupun rms dari percobaan 4, dimana semakin besar nilai sudut pemunculan maka tegangan dan arus keluaran dari rangkaian akan semakin kecil.

E. *Konsumsi Daya Sistem Keseluruhan*

Pengukuran konsumsi daya dari modul praktikum SCR dilakukan untuk mengetahui berapa besar daya yang digunakan oleh sistem. Pengukuran konsumsi daya dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada saat sistem dalam kondisi *standby* dan saat sistem bekerja penuh, yaitu pada saat memngeksekusi program pemunculan. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut.

TABEL 5
KONSUMSI DAYA SAAT KONDISI *STANDBY*

Percobaan	V(Volt)	I(Ampere)	P(Watt)
1	237,1	0,135	14,4
2	237,1	0,137	14,3
3	237,1	0,133	14,3



Gambar 24 Pengukuran konsumsi daya pada kondisi *standby*

TABEL 6
KONSUMSI DAYA SAAT KONDISI *BEBAN PENUH*

Percobaan	V(Volt)	I(Ampere)	P(Watt)
1	237,2	0,136	15,4
2	237,1	0,136	15,2
3	237,2	0,137	15,1



Gambar 25 Pengukuran konsumsi daya pada kondisi beban penuh

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. *SIMPULAN*

Dari perancangan, pembuatan dan pengujian modul praktikum yang sudah dilakuakn serta dari dat yang telah diperoleh dari hasil pengujian dan pengukuran dapat disimpulkan bahwa:

1. Dalam pengoperasiannya SCR tidak dapat beroperasi pada sudut pemicuan diatas 150° karena pada sudut pemicuan tersebut arus yang melewati SCR sudah berada di bawah batas *holding*.
2. Untuk rangkaian penyearah terkendali tiga fase setengah gelombang, sudut pemicuan optimum yang dapat digunakan adalah dari 30° sampai dengan 150° .

B. *SARAN*

Modul yang dibuat dapat disempurnakan dengan penambahan mode pemicuan untuk rangkaian penyearah terkendali tiga fase gelombang penuh sistem jembatan, penambahan rangkaian *snubber* untuk operasi dengan beban induktif, serta penambaham modul IR *remote* untuk kendali jarak jauh.

REFERENSI

- [1] Littelfuse, *Fundamental Characteristic of Thyristor.*, 2013.
- [2] Littlefuse. (2008) Gating, Latching, and Holding of SCRs and Triacs.
- [3] Control Concepts, *What You Should Know About SCR Power Controllers.*, 2002.
- [4] Arduino. (2019, May) [Online]. <https://www.arduino.cc/>
- [5] [Online]. <https://robotdyn.com/mega-2560-pro-embed-ch340g-atmega2560-16au.html>
- [6] Littlefuse. (2013) Fundamental Characteristics of Thyristor.