

Rancangan Kontrol Daya Resistif Berdasarkan Mikrokontroler dengan TRIAC

Imam Saputra¹, Satria Adiguna², Muhammad Afnan Habibi³, Arif Nur Afandi⁴,

Aditya Wahyu Setiawan⁵, Muhammad Cahyo Bagaskoro⁶, Aripriharta^{7*}

^{1,2,3,4,5,6,7*}Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang No.5 Malang, 65114, Indonesia
e-mail: ariprihata.ft@um.ac.id

Abstrak— Desain pengontrolan daya resistif menggunakan mikrokontroler dengan TRIAC adalah topik utama penelitian ini. Sakelar TRIAC dihubungkan antara sumber AC dan beban, sehingga aliran daya dapat dikontrol dengan memvariasikan tegangan efektif yang diberikan ke beban. Pengontrol kecepatan motor induksi tiga fase, kontrol pencahayaan, dan pemanas industri sering menggunakan teknik ini, yang disebut sebagai regulasi tegangan AC. Untuk memahami prinsip kerja sistem ini, diperlukan eksperimen dengan modul kontrol Daya. Penggunaan TRIAC berbasis mikrokontroler sebagai objek penelitian untuk desain pengontrolan daya resistif melibatkan simulasi rangkaian pemacu TRIAC dengan mikrokontroler AT89S51. Prinsip kontrol daya resistif dengan TRIAC adalah mengatur aliran daya ke beban dengan menunda sudut pemutusan thyristor. Mikrokontroler AT89S51 berperan sebagai pengontrol utama, mengambil keputusan berdasarkan informasi dari sensor *zero-crossing detector*. Pengujian dilakukan dengan menambahkan lampu sebagai beban. Temuan percobaan menunjukkan bahwa mengubah tegangan pemacu berdampak pada tegangan output, yang pada akhirnya mempengaruhi variasi kecerahan lampu dan peningkatan arus output. Berdasarkan analisis, sudut pemutusan menurun seiring dengan naiknya tegangan output thyristor. Hubungan antara perubahan tegangan output dan penyesuaian sudut pemutusan thyristor sangat penting untuk aplikasi kontrol daya. Untuk mencapai pengaturan daya resistif yang efisien dengan menggunakan TRIAC, pembahasan ini juga menekankan pentingnya komponen seperti mikrokontroler dan sensor *zero-crossing detector*.

Kata kunci : Kontrol Daya, Mikrokontroler AT89S51, TRIAC, Zero-crossing Detector, thyristor

Abstract— The design of controlling resistive power using a microcontroller with TRIACs is the main topic of this research. TRIAC switches are connected between the AC source and the load, so that the power flow can be controlled by varying the effective voltage applied to the load. Three-phase induction motor speed controllers, lighting controls, and industrial heaters often use this technique, which is referred to as AC voltage regulation. To understand the working principle of this system, experiments with Power control modules are required. The use of microcontroller-based TRIAC as a research object for resistive power controlling design involves the simulation of TRIAC triggering circuit with AT89S51 microcontroller. The principle of resistive power control with TRIAC is to regulate the flow of power to the load by delaying the thyristor disconnection angle. The AT89S51 microcontroller acts as the main controller, making decisions based on information from the zero-crossing detector sensor. Tests were conducted by adding a lamp as a load. The experimental findings show that changing the trigger voltage has an impact on the output voltage, which in turn affects the variation in lamp brightness and the increase in output current. Based on the analysis, the disconnection angle decreases as the output voltage of the thyristor increases. The relationship between the change in output voltage and the adjustment of thyristor disconnection angle is critical for power control applications. To achieve efficient resistive power regulation using TRIACs, this discussion also emphasizes the importance of components such as microcontrollers and zero-crossing detector sensors.

Keywords : Power Control, Mikrokontroler AT89S51, TRIAC, Zero-crossing Detector, thyristor

I. PENDAHULUAN

Penggunaan daya listrik pada berbagai peralatan dan sistem memerlukan kontrol yang tepat agar tidak terjadi kerusakan atau bahaya bagi pengguna. Salah satu cara untuk mengontrol daya listrik adalah dengan menggunakan Triode Alternating Current Switch (TRIAC) yang dapat mengontrol daya listrik

Alternating Current (AC). Dalam sistem kontrol ini, mikrokontroler digunakan sebagai pengontrol yang dapat mengatur dan memantau arus listrik yang masuk ke beban.

peneliti mempunyai ide untuk membuat alat pengontrol daya resistif dengan TRIAC menggunakan mikrokontroler sebagai sistem kendalinya tersebut.

Dengan menggunakan mikrokontroler maka akan mempermudah untuk membaca dan memasukkan set poin untuk mendapatkan tegangan yang dibutuhkan oleh beban.

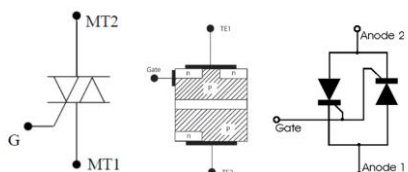
Alat ini bekerja sesuai dengan sudut pemicu yang dimasukkan melalui *keypad* yang terhubung pada sebuah mikrokontroler. Mikrokontroler dilengkapi dengan *interface keypad*, dan LCD. *Keypad* akan digunakan sebagai input untuk menentukan sudut picu TRIAC yang proporsional yang diinginkan. LCD akan digunakan untuk menampilkan besar picu dari keluaran TRIAC.

Dalam pengaturan desain alat ini menggunakan beberapa tahapan yaitu, mendeteksi kapan terjadi titik nol melalui rangkaian *zero crossing detector*, untuk mengetahui adanya picuan melalui sudut picu oleh TRIAC dan membandingkan hasil keluaran yang sudah diatur secara manual melalui tombol tekan. Sehingga dapat diharapkan akan memiliki nilai lebih dari alat pengatur kontrol daya sebelumnya.

II. STUDI PUSTAKA

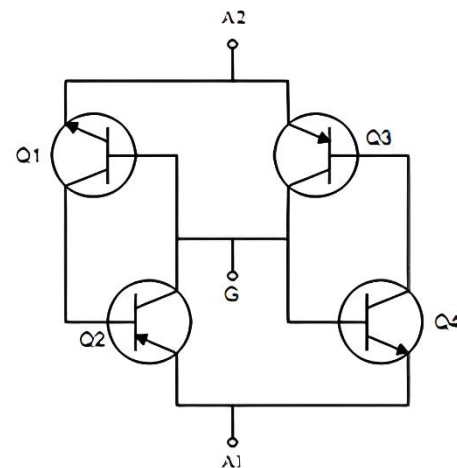
A. TRIAC

Sakelar AC triode, singkatnya TRIAC, adalah komponen yang terdiri dari dua sakelar arus bolak-balik (AC)[7]. TRIAC ini memiliki 5 lapisan material tipe P dan N dalam satu arah antara MT1 dan MT2 dan dapat menghantarkan ke arah lain seperti yang ditunjukkan pada simbol TRIAC pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Simbol TRIAC, Konstruksi Internal TRIAC, Rangkaian Ekuivalen TRIAC

Sebagai perangkat semikonduktor, TRIAC mampu menghantarkan listrik berkecepatan tinggi. TRIAC beroperasi pada voltase di atas 100 V dan dapat mengisi arus di atas 100 A. Untuk mengaktifkan fungsi TRIAC ini, dapat digunakan di *dimmer*, pemanas daya, kontrol kecepatan motor, dll. Sistem kontrol AC dapat digunakan. Misalnya, prinsip pengoperasian TRIAC dapat dilihat pada sistem semikonduktor dan sirkuit serupa.



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen TRIAC

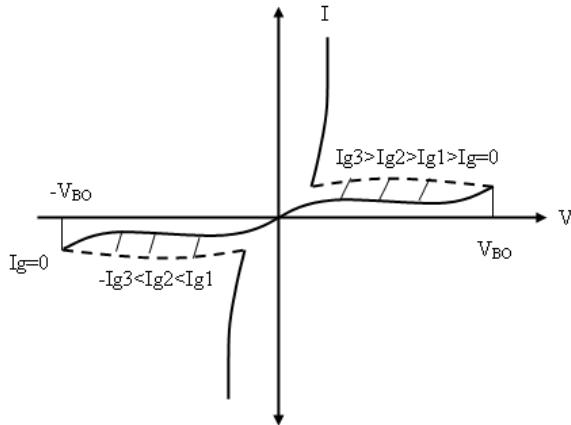
Thyristor dan TRIAC milik keluarga thyristor yang sama dengan prinsip operasi yang sama. Perbedaan di antara keduanya terletak pada efisiensi penggunaan. Thyristor adalah perangkat kontrol setengah gelombang atau DC. Artinya SCR hanya dapat mengontrol tegangan AC pada siklus positif dan tidak pada siklus negatif. Faktanya, SCR digunakan sebagai pengontrol pulsa di beberapa aplikasi. TRIAC, di sisi lain, adalah perangkat kontrol dua arah atau penuh. Sangat efektif untuk kontrol beban AC.

Prinsip operasi TRIAC dapat dilihat dari simbol dan strukturnya. Selain Terminal 1 (MT1) dan Terminal 2 (MT2), juga terdapat terminal *exit*. Parameter penetasan ini memungkinkan mengontrol hasil koreksi bilateral (MT1 dan MT2). Perangkat dapat dialihkan ke keadaan konduksi langsung berdaya rendah dengan menerapkan pulsa daya rendah pendek ke terminal gerbang. Secara umum, prinsip kerja TRIAC waktu positif adalah terminal 2 (MT2) lebih positif daripada terminal 1 (MT1), transistor K3 dan K4. Dalam hal ini, MT2 adalah banteng dan MT1 adalah beruang. Jika terminal G gerbang juga lebih positif dari MT1, maka transistor K3 dan K4 tidak akan bekerja. Dengan kata lain, kedua transistor dibias balik, sehingga arus bocornya sangat kecil. Dalam waktu negatif, ketika pin 1 (MT1) lebih positif dari pin 2 (MT2), transistor K1 dan K2 berjalan dan pin gerbang lebih positif dari MT2. TRIAC mengalirkan arus dan tegangan, bahkan ketika gerbang digerakkan oleh tegangan DC.

1. Karakteristik TRIAC

TRIAC dapat bersumber (ON) melalui gerbang positif atau negatif. Gambar 2 menunjukkan karakteristik TRIAC yang terdiri dari dua komponen SCR. Gambar menunjukkan tegangan cut-off $+V_{bo}$, dengan TRIAC menyala ketika tegangan maju mencapai titik ini. Gambar tersebut juga menunjukkan holding current I_h yang

membuat TRIAC tetap menyala. Oleh karena itu, agar perangkat tetap menyala, arus dari anoda ke katoda harus sesuai dengan parameter yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sejalan ini kita telah membahas menyalakan TRIAC. Setelah SCR/TRIAC mencapai keadaan ON, SCR/TRIAC tetap menyala selamanya, bahkan jika tegangan gerbang dilepas atau katoda dihubung singkat.



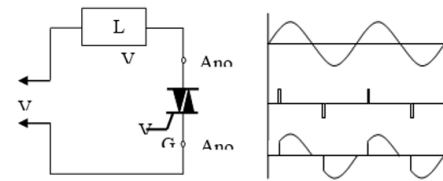
Gambar 3. Karakteristik I-V TRIAC

Satu-satunya cara untuk mematikan TRIAC adalah dengan mengurangi arus anoda-katoda di bawah arus holding (I_h). Proses mematikan TRIAC setara dengan mengurangi tegangan anoda-katoda menjadi nol. mengontrol tegangan AC terminal 1 (MT1) dan terminal 2 (MT2) di wilayah positif Transistor Q3 dan Q4 mengontrol transistor TRIAC di wilayah negatif Dua pasang transistor ditunjuk di Q1 dan Q2 (Gambar 2). Oleh karena itu, setiap pasangan diasosiasikan sebagai pasangan keyakinan positif. Ini sangat meningkatkan arus antara gerbang Q1 dan Q2 atau antara gerbang Q3 dan Q4. Karena 1 V diperlukan untuk membuka gerbang dan mengoperasikan TRIAC, daya untuk menggerakkan TRIAC relatif kecil (di urutan mW) dan diagram TRIAC tipikal ditunjukkan pada Gambar 3.

2. Penyulutan TRIAC

Gambar 4 menunjukkan simbol TRIAC dan rangkaian untuk aplikasi khas. Tegangan beban, seperti yang ditunjukkan, tetap AC. AC efektif V_{rms} nilai tegangan diterapkan untuk beban dapat diubah dengan mengubah waktu fase siklus ketika gerbang TRIAC yang berdenyut. Tegangan yang dihasilkan harus memicu bipolar, satu pulsa dalam satu polaritas dan polaritas berlawanan berikutnya.

Spesifikasi TRIAC yang mirip dengan SCR maksimum arus I_{rms} , tegangan reverse puncak, tegangan memicu, dan memicu arus.



Gambar 4. Rangkaian Picu Sederhana TRIAC Beserta Bentuk Gelombang

Tegangan keluaran rata-rata TRIAC dapat di tentukan sebagai berikut :

$$V_{rms} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{1}{2} \alpha + \frac{1}{4} \sin 2(\pi - \alpha)} \quad (1)$$

Keterangan :

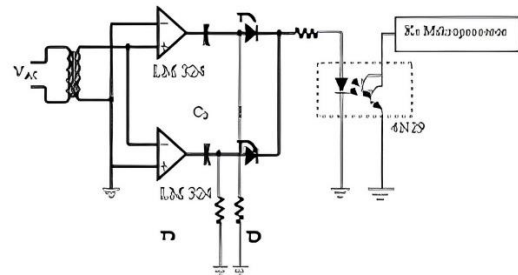
V_{rms} : Tegangan rata-rata (Volt)

V_p : Tegangan puncak (Volt)

B. Zero crossing detector

Jika ada dua sinyal dengan frekuensi yang sama tetapi mempunyai waktu berlainan saat melintasi titik nolnya, maka perbedaan tersebut merupakan beda fasanya. Dengan mengacu hal tersebut, untuk mengetahui beda fase antara dua sinyal diperlukan

rangkaian yang dapat mendeteksi waktu saat sinyal melintasi titik nolnya. Rangkaian tersebut adalah rangkaian *zero crossing detector*.



Gambar 5. Zero crossing detector

Output dari rangkaian ini adalah kotak di mana transisi rendah ke tinggi atau tinggi ke rendah terjadi ketika sinyal input melewati nol. Output dari rangkaian gelombang persegi itu diubah menjadi pulsa, yang kemudian dikirim ke mikrokontroler. Rangkaian zero-point detector merupakan rangkaian optocoupler dimana tegangan referensi adalah nol (0 volt). Optocoupler juga bertindak sebagai isolasi galvanik untuk sirkuit berikutnya.

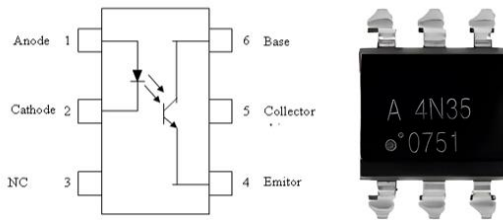
C. Optoisolator

Konektor optik adalah perangkat yang menggunakan cahaya sebagai penghalang. Opto itu sendiri mewakili optik dan konektornya mewakili pemacu. Jadi optocoupler dapat didefinisikan secara

sederhana sebagai bagian yang bertindak sebagai induktor dan menginduksi cahaya optik. Optocoupler adalah perangkat yang terdiri dari dua bagian, yaitu pemancar dan penerima. Unit pemancar, atau biasa disebut penerima, dilengkapi dengan LED infra merah, yang memberikan perlindungan lebih baik dibandingkan dengan LED tradisional. Alat ini dapat digunakan sebagai alat pemutus tegangan rendah hingga tegangan tinggi. Selain itu, perangkat ini dapat digunakan sebagai penghalang deteksi antara pemancar dan penerima, yang memberikan jarak antara LED dan ponsel[6].

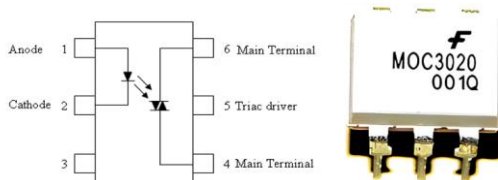
Jenis optocoupler yang digunakan dalam penulisan ini ada dua jenis, yaitu:

1. Seperti terlihat pada Gambar 6, optocoupler terdiri dari jenis transistor (optotransistor) LED dan phototransistor, prinsip operasinya sama dengan transistor konvensional, yang membedakan adalah bagaimana sinyal keluarannya. dilakukan ketika transistor menyuplai tegangan. atau arus, meskipun optotransistor menggunakan cahaya, karena menggunakan cahaya, input dan output dari cahaya ini terpisah.



Gambar 6. Skematik Optotransistor, Bentuk fisik Optotransistor

2. OptoTRIAC memiliki LED gallium arsenide. Ketika cahaya mengenai fotodiode, perangkat optik berfungsi. OptoTRIAC dirancang untuk digunakan dengan TRIAC sebagai antarmuka logika sistem pada sumber listrik 220 VAC[12]. PhotoTRIAC digunakan sebagai pengontrol TRIAC, jadi photoTRIAC disebut driver TRIAC dalam optoTRIAC ini.

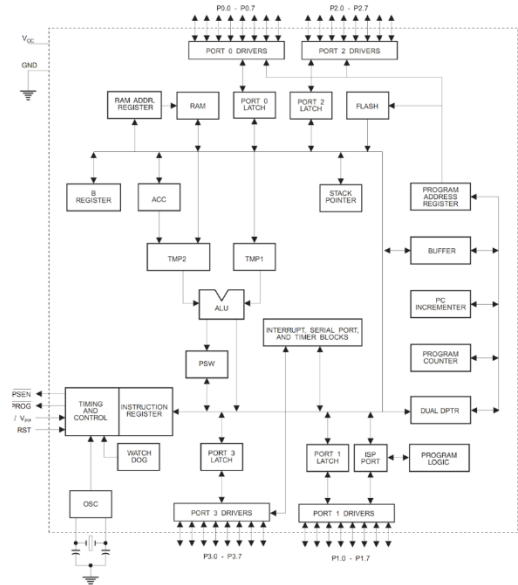


Gambar 7. Skematik OptoTRIAC, Bentuk Fisik OptoTRIAC

D. Mikrokontroler AT89S51

Beberapa alasan utama pemilihan mikrokontroler AT89S51, yaitu:

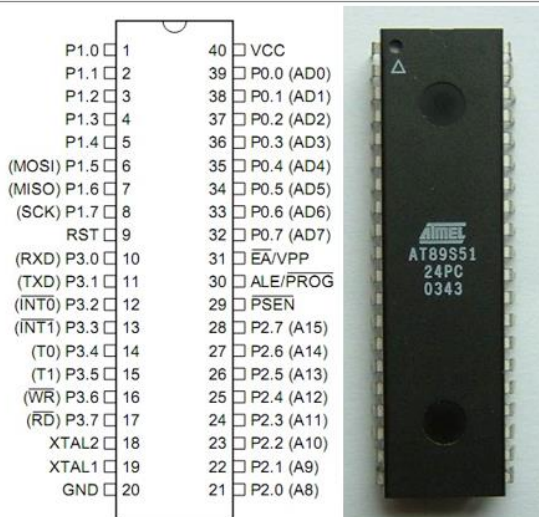
- a. Harganya yang lebih terjangkau
- b. Memiliki kecepatan clock mencapai 33MHz.
- c. Cocok untuk produk MCS®-51.
- d. Memiliki port I/O sebanyak 32 buah,
- e. Termasuk ISP 4K-byte (System Programmable) yang membatasi penulisan dan penghapusan program hingga 1000 kali.
- f. Memiliki RAM Internal sebesar 128x8 bit
- g. Rentang tegangan (V_{cc}) yang digunakan antara 4.0 – 5.5volt tetapi umumnya menggunakan level tegangan 5 volt.



Gambar 8. Diagram Blok AT89S51

Topologi perangkat keras AT89S51 menggabungkan mikrokontroler 8051 (MCS-51) topologi perangkat keras dan teknologi memori flash. Topologi 8051 menggunakan topologi Harvard yang dimodifikasi dengan alamat berbeda untuk memori program dan data. Hingga 64 KB memori program yang dapat dialamatkan. Chip dapat memiliki lebih sedikit memori (4K, 8K atau 16K tergantung pada jenisnya). Mikrokontroler ini memiliki 128-byte memori internal termasuk beberapa *register* (SFR) dan 64K alamat memori eksternal untuk data.

Pada gambar 9 ditunjukkan konfigurasi AT89S51 yang memiliki 40 kontak. Ada 32 pin I/O, 8 pin untuk port 0 (pin 32-39), 8 pin untuk port 1 (pin 1-8), 2 pin ini untuk port 2 (pin 21-28) dan 8 pin untuk port 3 (pin 10-17). Port 1 adalah fungsi port ISP khusus (dapat dikonfigurasi sistem) pada pin 6, 7 dan 8, dan port 9 disetel ulang. Port ISP digunakan untuk pemrograman paralel mikrokontroler. Saat menguji program, lepaskan kedelapan pin dari port 0.



Gambar 9. Konfigurasi Pin AT89S51, Bentuk Fisik Mikrokontroler AT89S51

Berikut Tabel 1 adalah daftar pin-pin pada mikrokontroler AT89S51 beserta fungsinya.

No	Nama Pin	Deskripsi
1.	VCC	+5V
2.	Ground	0V
3.	VEE	Tegangan Kontras LCD
4.	RS	Register Select, 0: Register perintah 1: Register Data
5.	R/W	1: Read; 0: Write
6.	E	Anable Clock LCD
7.	D0	Data Bus 0
8.	D1	Data Bus 1
9.	D2	Data Bus 2
10.	D3	Data Bus 3
11.	D4	Data Bus 4
12.	D5	Data Bus 5
13.	D6	Data Bus 6
14.	D7	Data Bus 7
15.	Anoda	Tegangan positif backlight
16.	Katoda	Tegangan negatif backlight

E. LCD (Liquid Crystal Display)

LCD (Liquid crystal display) adalah teknologi tampilan digital yang dapat menampilkan gambar pada permukaan datar dengan menggunakan layar kristal cair dan filter warna. Filter kristal cair dan filter warna memiliki struktur molekul polar dan ditempatkan di antara dua elektroda transparan. Ketika molekul polar dikenakan medan listrik, mereka menyesuaikan posisinya dengan medan listrik dan membentuk struktur kristal yang mempolarisasikan cahaya [10].

Rangkaian tampilan LCD pada penelitian ini menggunakan modul tampilan dua baris, dan setiap baris dapat menampilkan 16 karakter. Memori ROM (Read Only Memory) digunakan sebagai character generator sebanyak 192 tipe karakter dengan font dot matrix 5x7. Kapasitas penyimpanan eksternal 80x8 bit

data (maksimum 80 karakter). Diagram blok LCD ditunjukkan pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. LCD M1632

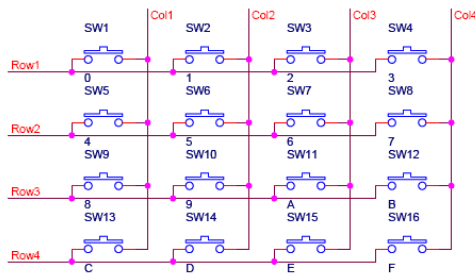
Adapun untuk menampilkan karakter yang akan dilakukan dengan cara memberikan kode karakter untuk tiap-tiap karakter yang diinginkan pada bus data dengan menggunakan sinyal kontrol E, RS, dan RW. Untuk konfigurasi pin-pin pada LCD ditunjukkan pada tabel 1.

F. Keypad

Keyboard LCD adalah alat yang dapat digunakan untuk memasukkan data. Fungsinya untuk mengubah setiap tombol yang ditekan menjadi bentuk biner, mengurangi jumlah jalur menuju putaran berikutnya. Keyboard ini menggunakan sistem pemindaian baris dan kolom, dalam hal ini adalah Keyboard matriks 4x4. Keyboard matriks 4x4 adalah perangkat input kolom 4x4 yang dapat dihubungkan ke mikrokontroler atau mikroprosesor. Keyboard ini memiliki 16 tombol yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan [8]. Tata letak Keyboard matriks 4x4 terdiri dari 4 baris tombol dan 4 kolom tombol dan ditunjukkan pada Gambar 11. dibawah ini.



Gambar 11. Keypad 4x4



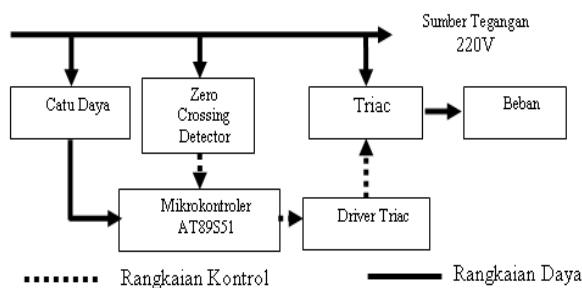
Gambar 12. Rangkaian Ekuivalen Keypad

III. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimental (*Research method*), yang melibatkan perancangan, pengembangan, dan pengujian komponen sistem kontrol daya resistif menggunakan mikrokontroler AT89S51 dan TRIAC. Penelitian ini mencakup langkah-langkah perancangan, pengembangan, serta pengujian masing-masing komponen sistem secara terpisah dan keseluruhan sistem secara keseluruhan. Setelah itu, hasil pengujian dianalisis dan dibandingkan dengan perhitungan teoritis untuk mengevaluasi kinerja sistem. Metode ini bertujuan untuk menguji keefektifan dan kinerja sistem yang dikembangkan dalam konteks aplikasi praktis.

A. Sistem yang Didesain

Struktur dan pengoperasian alat pada diagram blok dimaksudkan untuk memudahkan analisis rangkaian secara keseluruhan. Mulai dari input, proses hingga bagian terakhir dari proses yang menghasilkan output atau keluaran rangkaian. Diagram blok dari keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar13. Blok Diagram Desain Kontrol Daya

Pada blok diagram diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

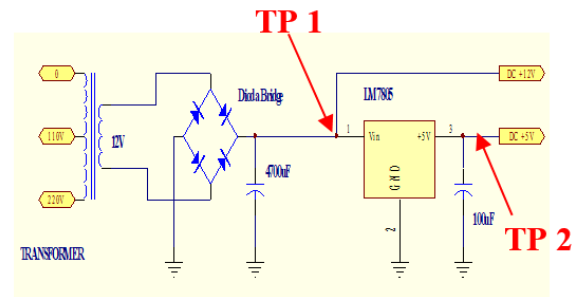
- Output dari rangkaian *zero crossing detector* adalah berbentuk persegi, dimana transisi dari rendah ke tinggi maupun dari tinggi ke rendah terjadi saat sinyal input melintasi titik nol (0 volt).

- Mikrokontroler AT89S51 difungsikan untuk mengatur tegangan keluar sehingga bisa untuk menghasilkan sinyal trigger TRIAC, serta mengolah data input dengan keypad dan output yang bisa dibaca melalui sebuah LCD.
- Optocoupler atau sering disebut optoisolasi ini berfungsi untuk mengisolasi rangkaian yang terhubung secara langsung dengan PLN pada rangkaian kontrol dan dari driver TRIAC, sehingga jika terjadi kerusakan dengan rangkaian yang terhubung langsung dengan tegangan PLN tidak akan menyebabkan kerusakan yang lebih luas pada rangkaian pengontrol. Rangkaian kontrol daya ini bisa diubah-ubah sesuai dengan besarnya arus gate yang diberikan. Semakin besar arus yang diberikan, semakin kecil tegangan penyalannya.

B. Pengujian

1. Sumber Tegangan

Pengujian rangkaian catu daya bertujuan untuk memastikan bahwa rangkaian catu daya dapat menghasilkan tegangan dan arus sesuai kebutuhan. Pengukuran dilakukan dengan multimeter yang ada di laboratorium elektronika daya.

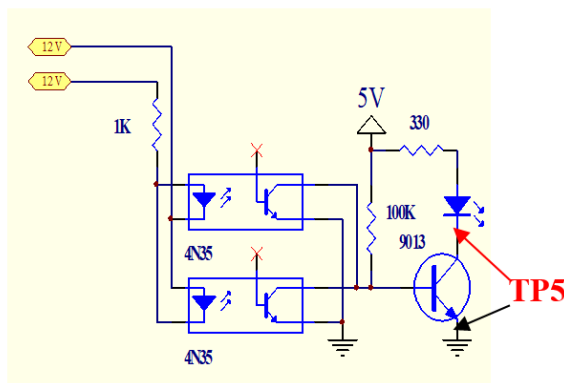


Gambar 14. Pengujian Tegangan pada Keluaran Kapasitor dan IC 7805

Gambar 20 menunjukkan cara untuk mengukur pada kapasitor (TP1) keluaran 12V. Titik Pengujian (TP) diatas untuk mensuplai rangkaian yang ada di sistem. Sedangkan pada TP2 menunjukkan cara pengujian tegangan pada keluaran IC 7805 yang digunakan untuk mencatu tegangan pada rangkaian lainnya. Tegangan ini adalah tegangan DC yang stabil walaupun tegangan masukannya berubah-ubah sampai batasan mikrokontroler (batasan input mikrokontroler 4V-6V, tapi yang sering digunakan adalah 5V).

2. Zero crossing detector

Pada gambar 21 Titik Pengukuran (TP) pada rangkaian *zero crossing detector*, TP 5 menunjukkan cara pengujian keluaran pada *zero crossing detector*.



Gambar 15. Titik Pengukuran Zero crossing detector

Pada TP5 ini dimanfaatkan sebagai picu bagi eksternal *Interrupt 0* mikrokontroler. Sehingga dengan melihat gambar ini dapat diperkirakan sudut tunda *zero crossing detector* ditambah beberapa mikro detik karena adanya program pengecekan pada sub program *Interrupt 0*.

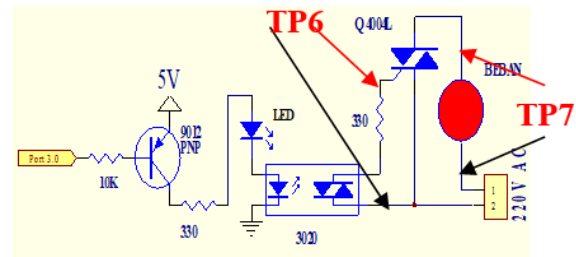
Pengujian rangkaian detektor nol dilakukan dengan menerapkan 220 VAC ke rangkaian detektor nol. Kemudian, dengan menggunakan osiloskop, pengukuran dilakukan di bagian input dan output dari rangkaian detektor titik nol.

3. Pengujian Driver TRIAC dan TRIAC

Tegangan keluaran TRIAC dapat diubah-ubah atau dikendalikan dengan mengendalikan delay atau sudut penyalan (α) dari trigger yang dibangkitkan. Jika suatu penyalan (α) kecil maka daya keluarannya besar, dan apabila penyalan besar maka daya keluarannya kecil. Tegangan keluaran thyristor dapat diatur dengan mengatur sudut penyalan pulsa gate-nya, dalam hal ini adalah 00 - 1800.

Pengujian optocoupler pada driver TRIAC bertujuan untuk menguji keamanan rangkaian driver TRIAC terhadap arus yang terlalu tinggi yang dapat menyebabkan kerusakan mikrokontroler, optocoupler, serta catu daya. Titik pengukuran ini dilakukan pada bagian pengukuran arus basis transistor dan led optocoupler saat input bertegangan +5V.

Pada gambar 3.9 dibawah, padat TP 6 menunjukkan cara pengujian driver TRIAC untuk mengukur tegangan pada keluaran isolator yang berfungsi sebagai pemicu pada gate. Sedangkan pada TP 7 menunjukkan cara pengukuran tegangan keluaran TRIAC yang sudah diberi pemicu pada gate TRIAC, sehingga keluaran yang didapatkan bisa dikontrol pada saat TRIAC diberi beban.



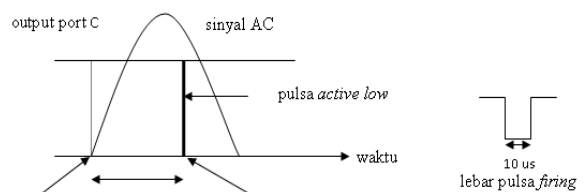
Gambar 16. Titik Pengukuran pada Rangkaian Driver TRIAC dan TRIAC

4. Mikrokontroler

Basis waktu terkecil dipilih untuk menyederhanakan desain dengan 10ms. Agar penundaan menjadi variabel, dibuat subprogram terpisah yang membuat penundaan variabel. Besarnya delay trigger TRIAC ditentukan dengan persamaan berikut.

$$t = \frac{\text{sudut}}{180} 10\text{ms} \quad (2)$$

Berdasarkan Persamaan 2, delay yang digunakan adalah 10ms. Delay terkecil yang digunakan pada model ini adalah 0,1ms. Tegangan gelombang tunggal adalah 30 ms, maka setengah gelombang AC PLN adalah $\frac{1}{2} \times 20 \text{ ms} = 10 \text{ ms}$ setengah gelombang. Sistem ini dirancang untuk mengontrol pemicu gelombang AC, sehingga dalam implementasinya perlu dilakukan pembatasan delay pada seluruh program. Besarnya penundaan pemicu AC setengah gelombang ditunjukkan pada Gambar 23.



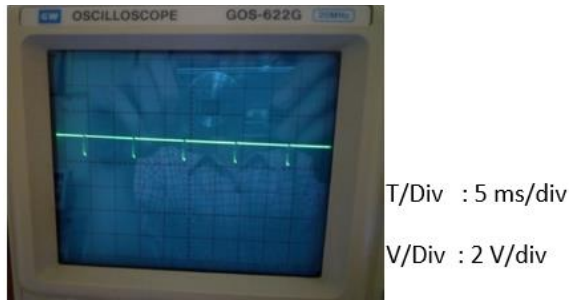
Gambar 17. Delay Firing, Lebar Pulsa Firing

Lebar pulsa pemicu yang digunakan dalam dokumen ini adalah 20ms. Lebar pulsa pemicu terkecil menurut lembar data adalah 2 mikro detik. Lebar pulsa dipilih menjadi 20 ms untuk menyederhanakan desain. Pulsa rendah ini diberikan ke port 10 (RXD) yang terhubung ke pengontrol TRIAC. Gambar 23 menunjukkan gambar pulsa pengaktifan rendah.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Zero crossing detector

Hasil yang diperoleh dari pengukuran oscilloscope *zero crossing detector* diperoleh bentuk gelombang:



Gambar 18. Bentuk Gelombang Keluaran *Zero crossing detector*

Keluaran *Zero crossing detector*

- Frekuensi

$$f = \frac{1}{T} \quad (3)$$

$$f = \frac{1}{5 \times 10^{-3} \times 4} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$

- Tegangan Puncak (V_p) = Tinggi Gelombang x volt/div

$$V_p = 1 \text{ div} \times 2 \text{ V/div} = 2 \text{ Volt} \quad (4)$$

- Tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) = Tegangan puncak x Volt/Div

$$V_{pp} = 2 \text{ div} \times 2 \text{ V/Div} = 4 \text{ V} \quad (5)$$

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{V_{pp}}{2}}{\sqrt{2}} = \frac{4}{2\sqrt{2}} = 1,41 \text{ V}$$

Dari hasil pengukuran tegangan menggunakan multimeter Tegangan terukur = 4,8 V

Hasil penelitian dibahas dan dibandingkan dengan hasil penelitian dari artikel yang diacu, jika mungkin.

B. Hasil Pengukuran TRIAC

Pertama dilakukan pengukuran melalui *Power Analyzer* untuk mengetahui perubahan yang ada sehingga nantinya akan dibuat perbandingan dengan perhitungan secara teori.

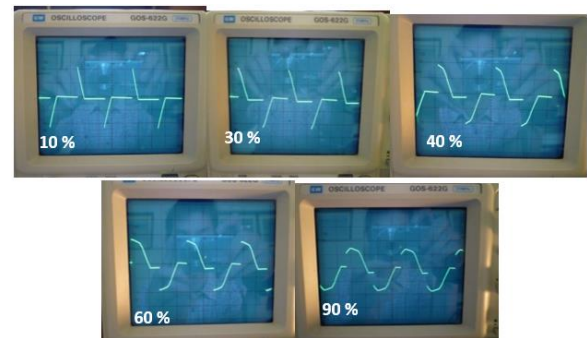
Dari hasil pengukuran keluaran TRIAC diperoleh hasil seperti tertera pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 2. Tabel Pengambilan Data Keluaran TRIAC dengan Beban 40 W

Pemicu		V_{rms} (V)	Arus (A)	Daya (W)	Cos ϕ
Sudut Pemicu	Delay (%)				
0°	0	0	0	0	-
1620°	10	63,3	0,07	5	1
1440°	20	93,3	0,09	8	1
1260°	30	102,1	0,11	11	1
1080°	40	133,6	0,12	16	1
900°	50	155,4	0,13	20	1
720°	60	176,3	0,14	24	1
540°	70	198,1	0,15	28	1
360°	80	209,7	0,16	33	1
180°	90	217,7	0,17	36	1
$1,80^\circ$	99	221,6	0,18	39	1

Dengan menggunakan *oscilloscope* guna melihat bentuk gelombang. Maka dapat diperoleh bentuk gelombang yang bervariasi tergantung dari pemicu yang digunakan untuk mengontrol daya dari TRIAC. Sehingga dari gambar ini bisa diketahui nantinya tegangan yang akan terjadi sehingga akan bisa dilihat perubahannya.

Berikut hasil keluaran *oscilloscope* yang terbentuk dari beberapa pemicu:



Gambar 19. Bentuk Gelombang Keluaran Tegangan TRIAC pada Beban 40W

Time/div: 5ms/div
Volt/div: 5 V/div

Menguji TRIAC dengan beban yang lebih besar untuk mengetahui nilai perubahan yang terjadi maka dapat diperoleh dengan data. Dari hasil pengukuran keluaran TRIAC diperoleh hasil seperti tertera pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3. Tabel Pengambilan Data Keluaran TRIAC dengan Beban Lampu 100W

Pemicu		V _{rms} (V)	Arus (A)	Daya (W)	Cos φ
Sudut Pemicu	Delay (%)				
0°	0	0	0	0	-
162°	10	63,5	0,21	13	1
144°	20	93,3	0,26	27	1
126°	30	120,5	0,3	40	1
108°	40	144,4	0,34	47	1
90°	50	165,2	0,36	60	1
72°	60	183,3	0,38	75	1
54°	70	199,1	0,4	83	1
36°	80	210,5	0,42	90	1
18°	90	218,6	0,43	97	1
1,8°	99	222,4	0,43	99	1

V. KESIMPULAN

Dari analisis perhitungan dan tabel diperoleh bahwa semakin besar tegangan picu yang diberikan maka semakin kecil tegangan keluaran begitupun sebaliknya, semakin kecil tegangan picu yang diberikan maka semakin besar tegangan yang dihasilkan maka semakin besar terang lampu yang dihasilkan dalam hal ini kenaikan tegangan V_{rms} akan diikuti pula dengan kenaikan terang lampu, dan arus keluaran I_{rms} akan naik pula.

Hasil eksperimen tidak selalu sesuai dengan hasil perhitungan teoritis, hal ini dapat disebabkan karena adanya faktor-faktor yang mempengaruhi hasil eksperimen, diantaranya: ketelitian alat ukur yang digunakan, kesalahan pada objek penelitian, human error (kesalahan manusia).

Pada saat tegangan keluaran (V_{dc}) dari thyristor semakin besar, maka sudut penyalaan akan semakin kecil. Dengan kata lain perubahan tegangan keluaran dari thyristor akan mempengaruhi sudut (dapat dilihat dari table pengujian).

Penelitian selanjutnya diharapkan mengeksplorasi integrasi sistem kontrol daya resistif dengan mikrokontroler modern seperti ARM Cortex atau mikrokontroler 32-bit, seiring dengan platform IoT untuk mengembangkan algoritma kontrol yang dioptimalkan dan protokol komunikasi yang efisien.keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Jain and R. B. Patel, "Design and Implementation of PID Controller for Temperature Control of Heat Exchanger," International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering (IJEECE), vol. 12, no. 8, pp. 698-703, Aug. 2018.
- [2] A. K. Akindele and A. T. Akinwale, "Design and Implementation of Temperature Control System using PID Controller," International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER), vol. 5, no. 12, pp. 1163-1168, Dec. 2014.
- [3] A. T. Ajibade, A. R. Adetunji, and O. A. Onawoga, "Design and Implementation of a Microcontroller-Based AC Power Control System using TRIAC," International Journal of Engineering and Technology (IJET), vol. 8, no. 5, pp. 2507-2513, Oct. 2016.
- [4] Agfianto. 2004. *Belajar Mikrokontroler AT89S51/53/55 Teori dan Aplikasi*, Edisi. Kedua, Penerbit : Gava Media, Yogyakarta.
- [5] D. U. Esehaghara, C. E. Okechukwu, and O. E. Adebayo, "Design and Construction of a Microcontroller-Based AC Power Control System," International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER), vol. 7, no. 6, pp. 229-237, Jun. 2016.
- [6] Jacob, Michael J. 1989. *Industrial Control Electronics*, Prentice Hall Inc, New Jersey,
- [7] Johnson, Curtis D. 1997. *Process Control Instrumentation Tecnology*, Prentice Hall Inc, New Jersey.
- [8] *Keypad*. (Online), <http://www.deltaelectronic.com>, diakses Mei 2011
- [9] M. A. Karim, M. M. Rahman, and M. R. Islam, "Design and Implementation of Temperature Control System using PID Controller," International Journal of Engineering and Technology (IJET), vol. 9, no. 1, pp. 361-365, Feb. 2017.
- [10] Malvino, Albert Paul, Ph.D.1985. *Prinsip-Prinsip Elektronika*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [11] O. O. Adetunji, A. T. Ajibade, and S. T. Akinyemi, "Design and Implementation of a Microcontroller-Based AC Power Control System using TRIAC," International Journal of Computer Applications (IJCA), vol. 134, no. 12, pp. 6-11, Jan. 2016.
- [12] *Optocoupler MOC2030*. (Online), <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>, diakses tanggal 23 Juni 2011.
- [13] P. J. Patel, J. J. Patel, and K. B. Patel, "Design and Implementation of Temperature Control System using PID Controller and Fuzzy Logic Controller," International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), vol. 2, no. 6, pp. 61-66, Dec. 2012.
- [14] P. M. Pachpute, P. D. Dakhole, and A. S. Dhote, "Design and Implementation of Microcontroller-Based AC Power Control using TRIAC,"

- International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (IJETAE), vol. 3, no. 3, pp. 261-265, Mar. 2013.
- [15] S. M. Parvez, M. A. Hossain, and S. S. M. Chowdhury, "Design and Implementation of a PID *Controller* for Temperature Control in a Chemical Reactor," International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 5, no. 4, pp. 491-498, Aug. 2015.
- [16] S. S. Sridharan and S. S. Sivakumar, "Microcontroller-Based AC *Power* Control System using TRIAC," International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER), vol. 4, no. 5, pp. 155-159, May. 2013.
- [17] Webb, John. 1989. Industrial Control Electronics, Prentice Hall Inc, New Jersey.