

Rancang Bangun Rangkaian Pengatur Kecepatan Motor DC dengan Penyearah Terkendali 3 Fasa

Dwi Ningtyas Wulandari, Agus Pracoyo, Sungkono

e-mail: dwinwd2000@gmail.com, agus.pracoyo@polinema.ac.id, sungkono@polinema.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 20 Desember 2022

Direvisi 28 Februari 2023

Diterbitkan 31 Mei 2023

Kata kunci:

3 Fasa

Motor DC

SCR

Zero Crossing Detector

ABSTRAK

Penyearah terkendali 3 fasa merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan sumber masukan arus bolak-balik (tegangan AC 3 fasa) dalam bentuk sinusoida menjadi tegangan luaran searah yang dapat dikendalikan. Tujuan pembuatan alat ini untuk memenuhi kebutuhan lab elektronika daya yang semakin bervariasi tentang pengaturan motor DC. Salah satu cara dengan mengendalikan penyearahan tegangan jala-jala AC 3 fasa. Pengendalian tegangan hasil penyearahan dapat dilakukan dengan mengatur waktu pemicuan SCR. Pengaturan waktu pemicuan SCR secara digital memerlukan rangkaian kendali dan masukan pulsa zero crossing detector. Pada penyearahan saluran AC 3 fasa gelombang setengah, waktu picu SCR tiap tiap fasa ditetapkan mulai dari sudut fasa 0° hingga 180°. Hasil yang di dapat yaitu tegangan maksimal tanpa beban adalah 37,4V sedangkan dengan beban motor dc 24V adalah 30V. Pada beban motor dc 24V kecepatan putar maksimum yaitu 5090 RPM. Frekuensi yang dihasilkan adalah 150Hz.

ABSTRACT

A 3-phase rectifier is a power electronics circuit that functions to convert an alternating current input source voltage (3-phase AC voltage) in the form of a sinusoid into a controlled direct external voltage. The purpose of making this tool is to meet the increasingly varied needs of the power electronics lab regarding DC motor settings, one of the ways is by controlling the AC line voltage rectification. The rectification voltage can be controlled by adjusting the triggering time of the SCR. Digitally setting the SCR triggering time requires zero crossing detector pulse control and input. In a 3-phase half-wave ac line rectification, the SCR trigger time for each phase is set from 30° to 165°. The results obtained are the maximum voltage without load is 37.4V while with a 24V dc motor load it is 30V. At a dc motor load the maximum rotational speed is 5090 RPM. The resulting frequency is 150Hz.

Keywords:

3 Phase

DC Motor.

SCR

Zero Crossing Detector

Penulis Korespondensi:

Dwi Ningtyas Wulandari,

Jurusan Teknik Elektro,

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Jalan Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65142.

Email: dwinwd2000@gmail.com

Nomor HP/WA aktif: +62 85704682329

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

1. PENDAHULUAN

Pengaturan kecepatan motor DC dilakukan dengan menyearahkan tegangan AC 3 fasa dengan converter. Converter adalah rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan masukan AC menjadi tegangan keluaran DC pada tegangan yang diinginkan [1]. Pengendalian tegangan hasil penyearahan dapat dilakukan dengan mengatur waktu pemicuan SCR. Pengaturan waktu pemicuan SCR secara digital memerlukan rangkaian kendali dan masukan pulsa zero crossing detector. Salah satu komponen yang digunakan dalam elektronika daya adalah Silicon Controlled Rectifier (SCR) prinsip kerjanya mirip seperti diode namun dengan besar tegangan keluarannya dapat diatur. Tegangan keluaran yang dapat diatur sesuai keinginan menjadikan SCR banyak digunakan khususnya di industri [2]

Beberapa penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan penyearah terkendali ini seperti Usman [3] melakukan studi tentang penyearah 3 fasa semikonverter. Rangkaian penyearah ini terdiri atas tiga buah thyristor dan tiga buah diode menghasilkan tegangan keluaran semikonverter mempunyai 2 kali lebih besar dari pada tegangan konverter setengah gelombang. Kemudian Ahmad Antares [4] melakukan studi tentang penyearah 3 fasa dengan beban motor shunt. Hasilnya tegangan output dari AC to DC Full Converter tiga fasa tak terkontrol mampu untuk menyuplai motor dc sebesar 220 VDC. Kemudian Qori Hidayati [5] melakukan studi tentang pengaturan kecepatan motor DC dengan mikrokontroler dikendalikan dengan Pulse Width Modulation (PWM).

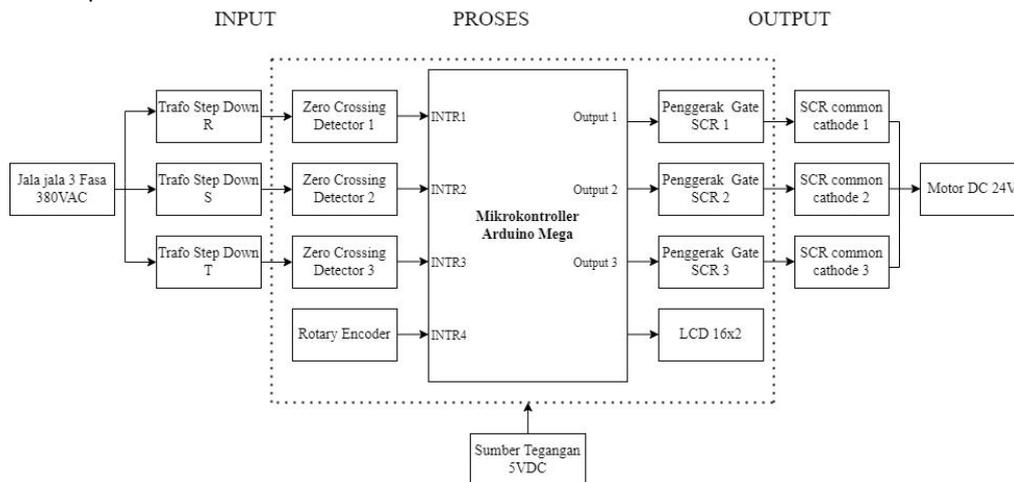
Pada penelitian ini bentuk gelombang R, S dan T adalah 3 buah gelombang sinusoida dengan beda fasa 120°. Bentuk-bentuk gelombang ini nantinya akan dipotong sesuai dengan besar alpha (α) atau waktu picu SCR. Waktu picu yang ditetapkan yaitu dimulai pada sudut 0° hingga 180° dengan besar sudut penyulutan adalah tiap kelipatan $\pi/12$ atau 15°.

2. METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian akan dibahas tentang diagram blok system, perancangan rangkaian zero crossing detector, perancangan penyulut SCR, desain mekanik dan elektrik.

2.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok merupakan diagram yang dibuat untuk memetakan alur kerja sebuah sistem yang akan dirancang. Alur kerja dimulai dari masukan sampai keseluruhan sesuai spesifikasi sistem kerja alat yang direncanakan. Diagram blok terdiri dari beberapa komponen. Pada Gambar 1 merupakan diagram blok sistem mencakup perangkat masukan, proses dan keluaran:



Gambar 1: Diagram Blok Sistem



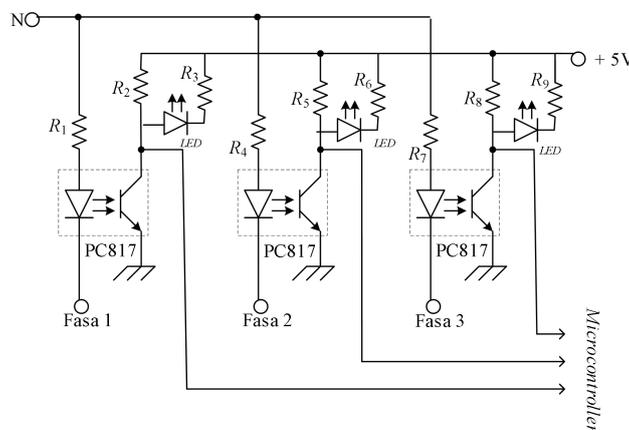
2.2 Perancangan Zero Crossing Detector

Rangkaian Zero Crossing Detector merupakan rangkaian yang difungsikan untuk mendeteksi titik persilangan nol pada gelombang AC (bentuk sinusoidal) menjadi bentuk square (kotak) [6]. Perpotongan titik nol yang dideteksi adalah pada saat peralihan dari siklus positif menuju siklus negative atau disebut negatip edge triggered. Titik persilangan nol tersebut akan digunakan sebagai sinyal interupsi pada Arduino mega 2560. Bentuk rangkaian zero crossing detector untuk setiap fasanya adalah sama. Nilai resistor yang digunakan dalam rangkaian zero crossing detector ditentukan dari parameter arus dan tegangan dari optocoupler PC817 serta microcontroller ATmega2560. Untuk menghitung nilai dari R1, R4 dan R7 maka harus diketahui nilai dari Vrms dari sekunder trafo= 25VAC, Vf (PC817)= 1,4V dan nilai If= 5mA. Maka nilai dari R1, R4 dan R7:

$$\begin{aligned}
 V_{rms} &= V_p \times \frac{\sqrt{2}}{2} & (1) \\
 25 \text{ VAC} &= V_p \times 0,7071 \\
 V_p &= \frac{25}{0,7071} = 35,35 \text{ VAC} \\
 R1 &= \frac{V_p - V_f}{I_f} = \frac{35,35 - 1,4}{0,005} = 6,77\text{k}\Omega \text{ (6,8k}\Omega)
 \end{aligned}$$

Kemudian terdapat resistor pull up yang berfungsi untuk menghindari floating logic atau logika mengambang. Untuk menghitung nilai dari R2, R5 dan R8 maka harus diketahui nilai dari Vcc = 5V, Vce (PC817)= 0,1V dan nilai Ic= 1mA. Maka nilai dari R2, R5 dan R8 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_{pull\ up} &= \frac{V_{cc} - V_{ce}}{I_c} & (2) \\
 &= \frac{5 - 0,1}{0,001} = \frac{4,9}{0,001} = 4,9\text{k}\Omega \text{ (5,6k}\Omega)
 \end{aligned}$$

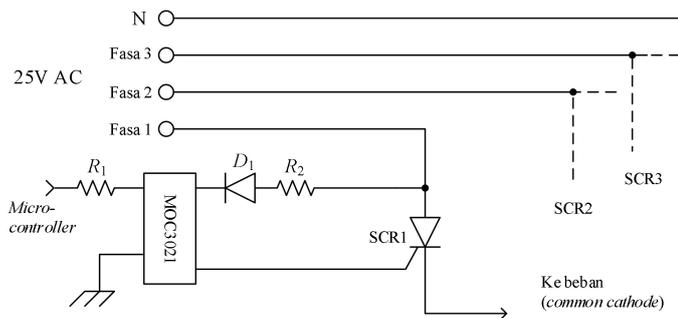


Gambar 2: Perancangan Zero Crossing Detector

2.3 Perancangan Penyulut SCR

Skema rangkaian penyulut SCR adalah sama untuk tiap fasa atau identik dan ditunjukkan dalam Gambar 3. Penyulut SCR menggunakan optocoupler MOC3021 dan ditambah dengan diode penyearah sebagai pengaman penyulutan negatip kepada SCR saat setengah perioda negatip sinyal AC.





Gambar 3: Penyulut SCR

Perhitungan nilai resistor ditentukan dari arus gate SCR dan batas maksimal dari arus output optocoupler. Untuk menghitung nilai dari R1 maka harus diketahui nilai dari MOC3021 yaitu $I_f = 15\text{mA}$ (Electrical Characteristic) dan $V_f = 1,15\text{V}$ (Typical). Kemudian nilai dari V_{OH} Arduino Mega = 5V. Berikut merupakan perhitungan yang didapat :

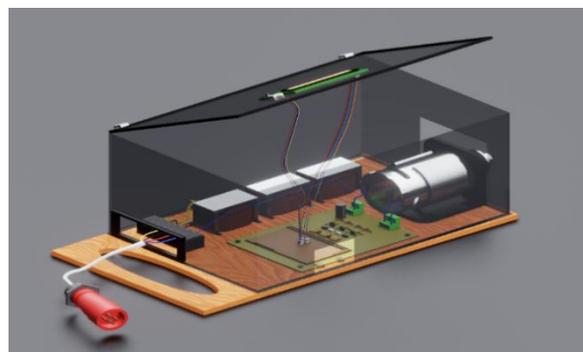
$$R1 = \frac{V_{OH} - V_f}{I_f} = \frac{4,2 - 1,15}{0,015} = \frac{3,05}{0,015} = 203\Omega \text{ (220}\Omega\text{)} \quad (3)$$

Untuk menghitung nilai dari R2 maka harus diketahui nilai dari $I_L(\text{SCR BT151}) = 40\text{mA}$, $V_{rms} = 25\text{VAC}$ dan $V_f \text{ diode} = 0,93\text{V}$

$$R2 = \frac{V_{rms} - V_f}{I_L} = \frac{25 - 0,93}{0,04} = \frac{24,07}{0,04} = 601,75\Omega \text{ (680}\Omega\text{)} \quad (4)$$

2.4 Desain Mekanik

Perancangan mekanik bertujuan untuk mendukung alat berjalan dengan sesuai dengan keinginan. Bagian mekanik yang dibutuhkan untuk alat ini adalah papan kayu dengan ukuran 38cm x 19cm x 1,7cm yang difungsikan sebagai alas peletakan komponen. Kemudian acrylic sebagai penutup dengan ukuran 41,3cm x 19cm x 9,7cm.

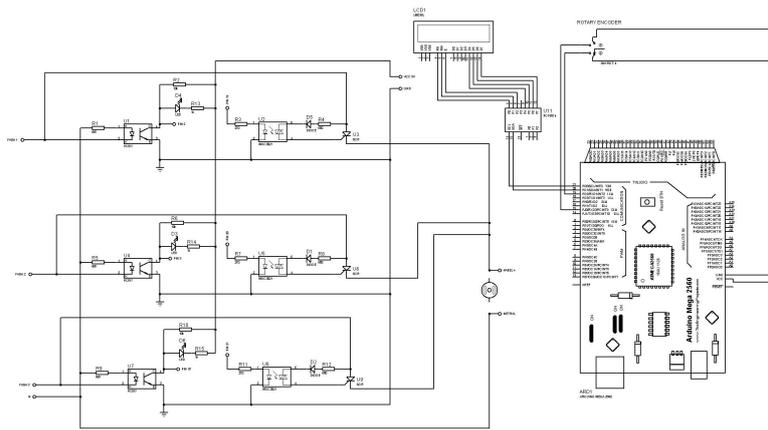


Gambar 4: Desain Mekanik

2.5 Perancangan Rangkaian Elektrikal

Untuk membuat modul dengan spesifikasi dapat mengatur kecepatan motor DC dengan penyearah terkendali 3 fasa maka diperlukan rangkaian elektrik sebagai rangkaian elektrik kontrol pada modul. Rangkaian tersebut terdiri dari rangkaian zero crossing detector, rangkaian SCR, Arduino Mega 2560, rotary encoder, motor DC dan LCD 16x2.



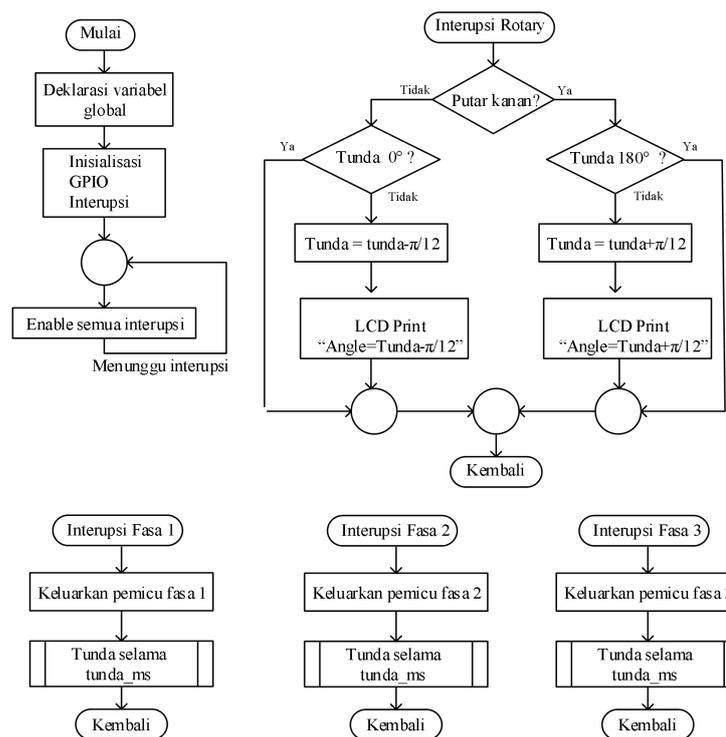


Gambar 5: Rangkaian Elektrikal

Rangkaian pada gambar 5 digunakan sebagai Main board pada rangkaian pengatur kecepatan motor DC dengan penyearah terkendali 3 fasa.

2.6 Flowchart Software

Flowchart program dibagi menjadi 5 bagian. Bagian pertama yaitu program utama atau main function dan yg lainnya adalah program interrupt service routine. Yaitu ZCD1 yang dibangkitkan oleh interupsi fasa 1, ZCD2 yang dibangkitkan oleh interupsi fasa 2, ZCD3 yang dibangkitkan oleh interupsi fasa dan yang terakhir interupsi yang dibangkitkan oleh pemutaran rotary encoder.



Gambar 6: Flowchart Sistem

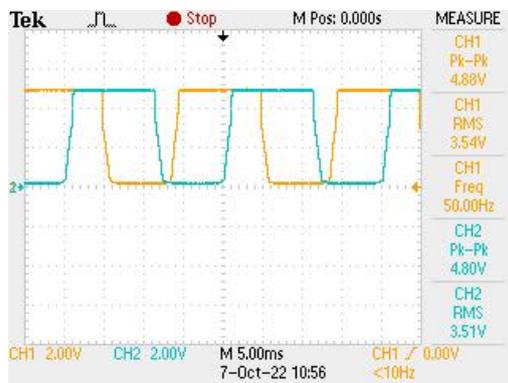
3. HASIL DAN PEMBAHASAN



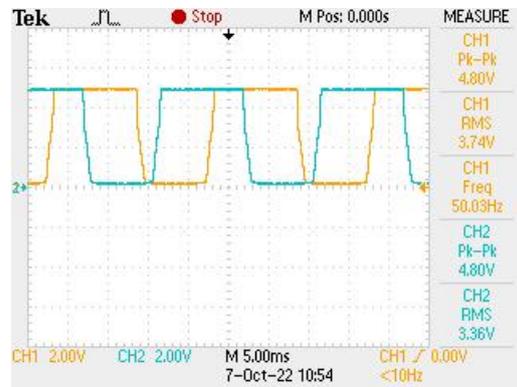
Beberapa hasil yang dibahas adalah rangkaian zero crossing detector, rangkaian dengan beban rheostat 50Ω dan rangkaian dengan beban motor DC 24V.

3.1 Pengujian Rangkaian Zero Crossing Detector

Pengujian rangkaian zero crossing detector difungsikan untuk mengetahui bentuk gelombang yang dihasilkan dari rangkaian yang telah dibuat. Berikut merupakan bentuk gelombang yang dihasilkan tiap fasanya :



Gambar 9: Gelombang R ke S dan S ke T



Gambar 10: Gelombang R ke T

Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa jarak gelombang zero crossing detector fasa R ke fasa S adalah 1,5 kotak dan jarak gelombang zero crossing fasa S ke fasa T juga sebesar 1,5 kotak. Sedangkan pada gambar 10 dapat dilihat bahwa jarak gelombang zero crossing fasa R ke fasa T adalah 3 kotak. Hasil ini menunjukkan bahwa rangkaian zero crossing detector sudah bekerja sesuai fungsinya yaitu pulsa berubah naik dari garis nol pada saat gelombang sinus menuju perioda negative dan mendekati persilangan nol serta jarak tiap fasanya sudah sesuai.

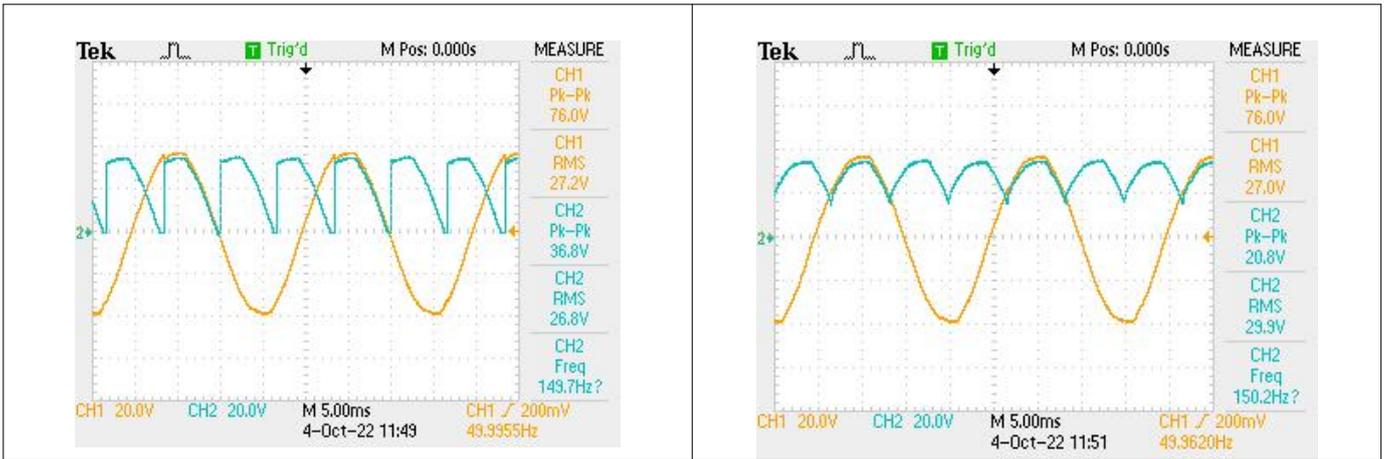
3.2 Pengujian dan Pengamatan Output dari Rangkaian dengan Beban Rheostat 50Ω

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui bentuk gelombang keluaran dari rangkaian yang diberi beban 50Ω. Kemudian mengetahui perbedaan bentuk gelombang keluaran dengan beban rheostat 50Ω tanpa kapasitor dan menggunakan kapasitor

Tabel 1 : Hasil dari Rangkaian dengan Beban Rheostat 50Ω

| Sudut Potong = 165° ; Tegangan = 4,50V | Sudut Potong = 120° ; Tegangan = 14,4V |
|--|--|
| | |
| Sudut Potong = 75° ; Tegangan = 26,8V | Sudut Potong = 30° ; Tegangan = 29,9V |





Pada tabel 1 menunjukkan bahwa gelombang yang dihasilkan adalah penyearah setengah gelombang 3 fasa. Rotary encoder menggeser sudut penyulutan mulai dari 0° hingga 180. Tegangan yang dihasilkan pada susut penyulutan 60° hingga 0° adalah sama yaitu 29.9V ini dikarenakan pada sudut penyulutan 60° bentuk gelombang output sudah meyetuh Vp dari gelombang input. Berikut perhitungan yang didapat :

$$\begin{aligned}
 V_{dc} &= \frac{0,827}{0,707} V_{rms} & (5) \\
 &= \frac{0,827}{0,707} \times 25 = 29,3V
 \end{aligned}$$

Dari data yang didapat nilai Vdc maksimal yang dihasilkan rangkaian adalah 29,9V sedangkan menurut perhitungan nilai maksimum Vdc yang dihasilkan adalah 29,3.

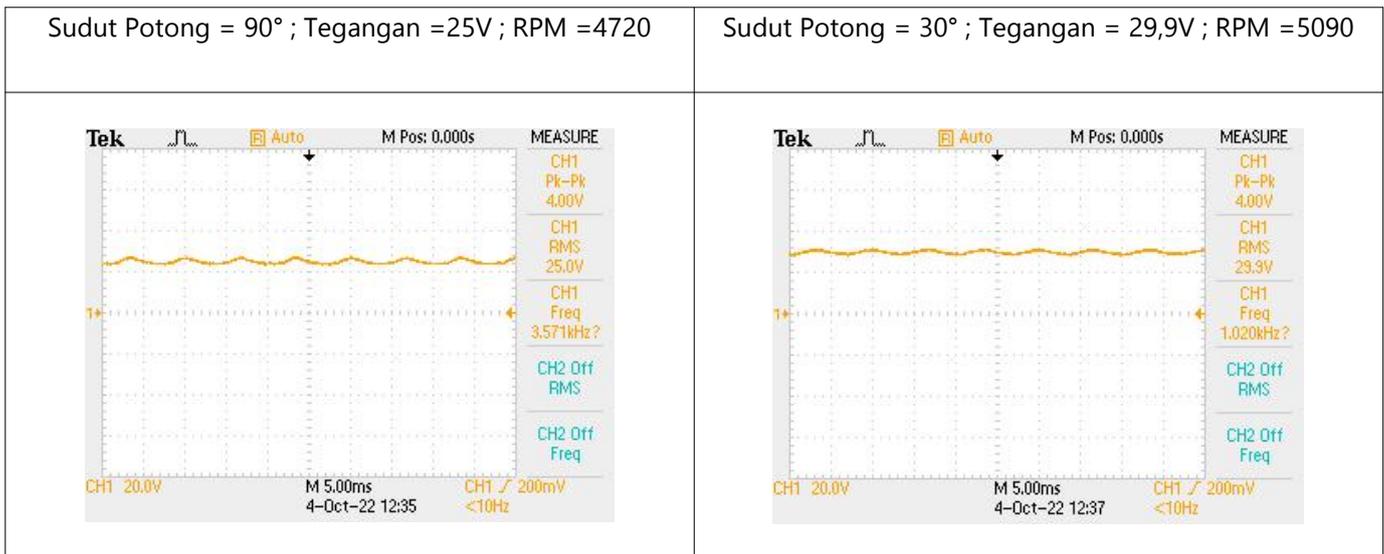
3.3 Pengujian dan Pengamatan Output dari Rangkaian dengan Beban Motor 24VDC

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui bentuk gelombang keluaran dari rangkaian keseluruhan. Kemudian mengetahui tegangan yang dihasilkan. Lalu kecepatan putar motor akan diukur menggunakan tacho meter agar dapat diketahui apakah rotary encoder dapat berfungsi untuk mengatur kecepatan putar motor DC.

Tabel 2 : Hasil dari Rangkaian dengan Beban Motor DC 24V

| Sudut Potong = 165° ; Tegangan = 620mV ; RPM = 0 | Sudut Potong = 120° ; Tegangan = 20,3V; RPM = 3240 |
|--|--|
| | |





Pada tabel dapat dianalisa bahwa sistem bekerja sesuai dengan perancangan. Besar tegangan yang dihasilkan berbanding linier dengan jumlah kecepatan putar motor DC. Maksimum kecepatan putar yang dihasilkan adalah 5090RPM. Dari data yang diambil nilai tegangan maksimum yang dihasilkan adalah 29,9V atau 30V namun pada saat sudut pemecuan 60° nilai tegangan akan berhenti naik atau stagnan hingga sudut pemecuan 0° (bentuk gelombang 180°).

4. KESIMPULAN

Pengaturan kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan pengaturan sudut pemecuan SCR secara digital menggunakan microcontroller Arduino mega dengan jangkah yang luas dan dibatasi oleh waktu picu on terendahnya. Frekuensi yang dihasilkan penyearah setengah gelombang 3 fasa adalah 150 Hz. Pada rangkaian ini arus maksimum yang dihasilkan adalah 900mA. Rotary encoder berfungsi menambah atau mengurangi besar sudut picu, dimana kecepatan putar motor DC saat sudut picu 180° adalah 0 RPM. Sedangkan saat sudut picu 0° kecepatan putar motor DC adalah 5090 RPM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maula, Z.A., Fathoni, & Pracoyo, A. (2021). Implementasi Konverter 3 Fasa Terkendali Untuk Inverter Satu Fasa. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 6(1), 32-38.
- [2] Yusuf, A., Tohir, T., & Santosa, Y. (2022, August). Simulasi Pengendali Sudut Fasa Pada Rangkaian Penyearah Terkendali Dengan Arduino Berbasis Proteus. In *Prosiding Industrial Research Workoshop And Natioanl Seminar (Vol. 13, No. 01, PP. 7-13)*.
- [3] Usman, U., Azis, F., Wirana, A., & Habibuddin, R. (2017). Perancangan Dan Pembuatan Trainer Penyearah Terkendali 3 Fasa. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 5(1), 26-35.
- [4] Adam, A.A. (2011). Rangkaian Penyearah Setengah Terkendali Tiga Fasa Untuk Pengendalian Karakteristik Motor Arus Searah Shunt. *Teknik Elektro, Universitas Tadulako, Gorontalo*.
- [5] Qori Hidayati, (2012). Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Menggunakan Mikrokontroler Atmega 8535. Balikpapan : Politeknik Negeri Balikpapan.
- [6] Zamroni, A. (2018). Perancangan Dan Pembuatan Trainer Penyearah Terkendli 1 Fasa Berbasis SCR (Silicon Controlled Rectifier) BT 151 (Doctoral Dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [7] Fathoni. 2014. Modul Ajar Praktikum Komponen Elektronika. Politeknik Negeri Malang. Malang.
- [8] Haqiqi, Nadzar Robby. 2016. Konverter AC-DC Setengah Gelombang Terkendali Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Berbasis Kontroler PI. Malang. Politeknik Negeri Malang.
- [9] Makasenggehe, N.C. (2012). Perancangan Power Supply Digital Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Keypad Sebagai Pemilih Tegangan. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 1(1).
- [10] Singgih, Hariyadi. 2015. *Elektronika Digital 2*. Malang : Politeknik Negeri Malang.

