

Rancangbangun catu daya linier 5V, 12V dengan ZCD dan PWM

Fathoni¹, Agus Pracoyo², Agus Sukoco Heru Sumarno³

e-mail: pakfapyrus@yahoo.com, agus.pracovo@polinema.ac.id, agus.sukoco@polinema.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 17 Februari 2021

Direvisi 05 April 2021

Diterima 29 April 2021

Kata kunci:

Catu-daya,
Pulsa,
TRIAC

Keywords:

Power supply,
Pulse,
TRIAC

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan sebuah prototype rangkaian catu daya linier yang dilengkapi dengan rangkaian *zero crossing detector* dan pembangkit PWM yang dapat digunakan sebagai pelengkap modul praktikum elektronika daya, terutama pada percobaan pengendalian beban ac dengan TRIAC secara digital. Pemicuan dapat dilakukan berdasar sudut fasa, yang memerlukan pulsa ZCD dan pemicuan *on-off* yang memerlukan PWM. Catu daya linier dipilih dalam rancangbangun ini dengan alasan kemudahan perhitungan rancangan dan mempunyai gangguaninterferensi frekuensi radio yang rendah. Tegangan output catu daya linier adalah 5V dan 12V dengan arus output hingga 1.000 mA. Komponen utama rangkaian catu daya linier adalah regulator IC type LM78XX dengan penguat arus transistor type pnp. Pembangkitan PWM dilakukan dengan kendali ATmega328. Frekuensi output dapat dipilih dari 1 dan 2 Hz serta variasi *duty cycle*, 0,2, 05, 07 dan 1. Pemilihan nilai frekuensi dan *duty cycle* dilakukan dengan *rotary encoder switch*. Pulsa output rangkaian ZCD dan PWM dirancang untuk standar TTL. Berdasar peruntukannya maka perangkat catu daya linier ini dilengkapi dengan pengamanan hubung singkat pada jalur keluarannya.

ABSTRACT

This research was conducted to obtain a linear power supply circuit prototype equipped with a zero crossing detector circuit and a PWM generator that can be used as a complement to the power electronics practicum module, especially in the experiment of digitally control loads with a TRIAC. Triggering can be done based on phase angle, which requires ZCD pulses and on-off triggering which requires PWM. The linear power supply was chosen in this design for the reason that it is easy to calculate the design and has low radio frequency interference. The output voltage of the linear power supply is 5V and 12V with an output current of up to 1,000 mA. The main component of the linear power supply circuit is the LM78XX type regulator IC with a PNP type transistor current amplifier. PWM generation is carried out by controlling the ATmega328. The output frequency can be selected from 1 and 2 Hz as well as variations of the duty cycle, 0.2, 05, 07 and 1. The selection of the frequency and duty cycle values is done by a rotary encoder switch. The output pulses of the ZCD and PWM circuits are designed for the TTL standard. Based on its designation, this linear power supply device is equipped with a safety short circuit on its output line.

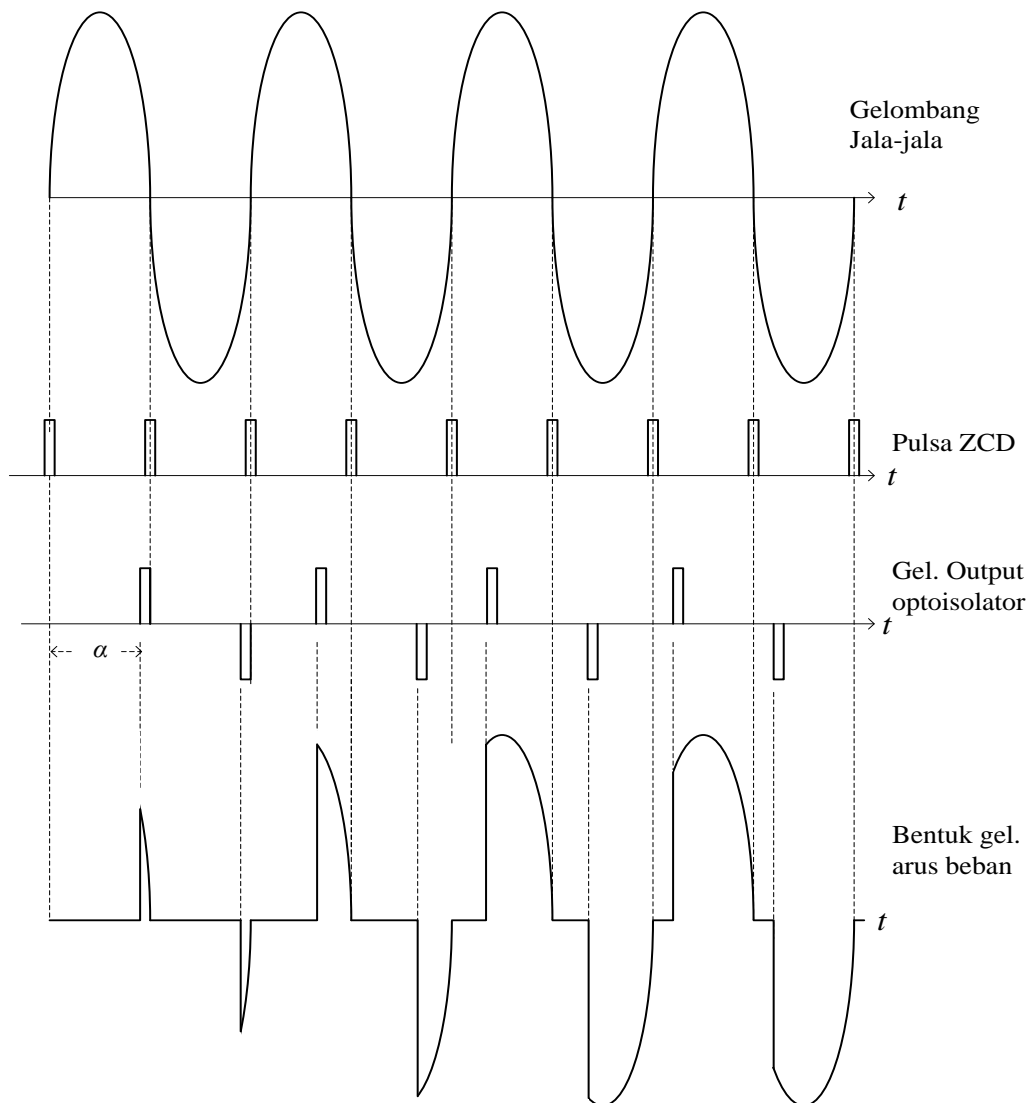
Penulis Korespondensi:

Fathoni,
Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang,
Jl. Sukarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.
Email: pakfapyrus@yahoo.com

1. PENDAHULUAN

Pengaturan daya ac secara digital dengan komponen TRIAC dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pemicuan berdasar sudut fasa dan pemicuan *on-off*. Pemicuan berdasar sudut fasa, rangkaian kendali digital memerlukan acuan titik persilangan nol dari gelombang ac sebagai titik awal perhitungan besarnya sudut fasa dan disebut sebagai pulsa *zero crissing detector* sedangkan pemicuan *on-off* memerlukan sinyal PWM sebagai variasi lama dan singkatnya waktu hantar TRIAC. Kopling cahaya yang biasa digunakan pada kedua cara pemicuan tersebut tersedia dengan beberapa fitur yang berbeda.

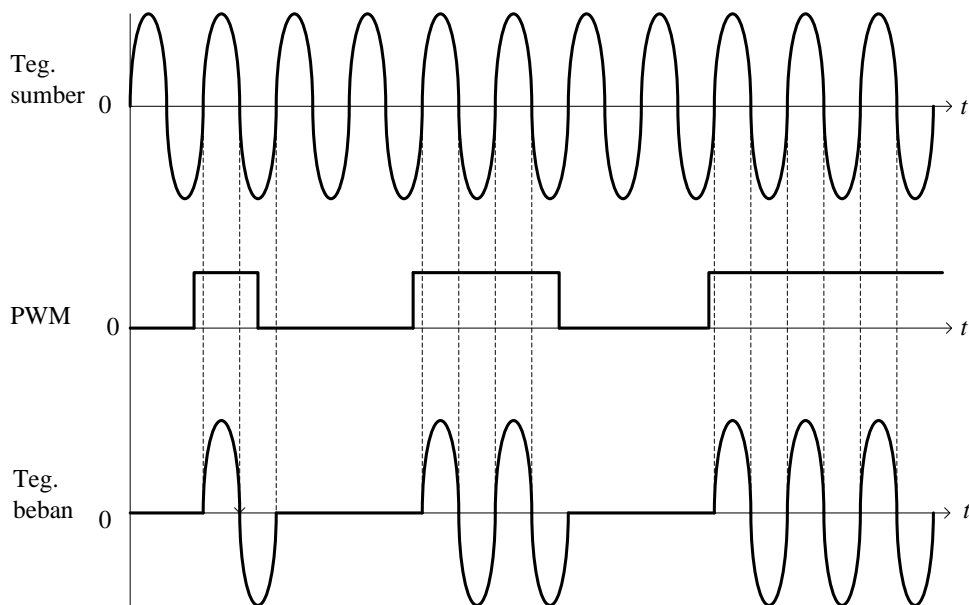
Pada praktikum Elektronika Daya untuk percobaan pengaturan daya beban ac dengan TRIAC, pemicuan berdasar sudut fasa memerlukan komponen kopling cahaya jenis *random phase*, perangkat catu daya dc untuk rangkaian kendali digital dan perangkat pembangkit pulsa ZCD sedangkan percobaan dengan kendali *on-off* memerlukan komponen kopling cahaya jenis *zero cross* dan perangkat pembangkit PWM. Dengan perangkat catu daya yang sudah dilengkapi dengan sumber ac tegangan rendah, ZCD dan PWM akan mengurangi jumlah item perangkat di meja praktikan dan untuk itu diperlukan suatu prototype perangkat yang dapat menyediakan semua sumber sinyal yang hendak digunakan. Diagram waktu pengaturan daya ac beban resistip dengan pemicuan sudut fasa ditunjukkan dalam Gambar 1 sedangkan pengaturan daya ac beban resistip dengan pemicuan *on-off* ditunjukkan dalam Gambar 2. [1]



Gambar 1. Pemicuan TRIAC berdasar sudut fasa

Rancangan catu daya linier sederhana dapat menggunakan IC regulator 78XX dan untuk menambah kemampuan arus output atau *booster* arus ditambahkan elemen pelewat BJT yang dipasang parallel. Dapat digunakan BJT jenis npn maupun pnp dengan cara pemasangan yang berbeda. Susunan elemen pelewat BJT

type pnp terletak di saluran input IC regulator sedangkan type npn terletak di saluran output regulator. Berdasar penelitian tentang kinerja elemen pelewat, penggunaan BJT type pnp sedikit lebih bagus daripada type npn, terutama pada besarnya tegangan riak yang dihasilkan.

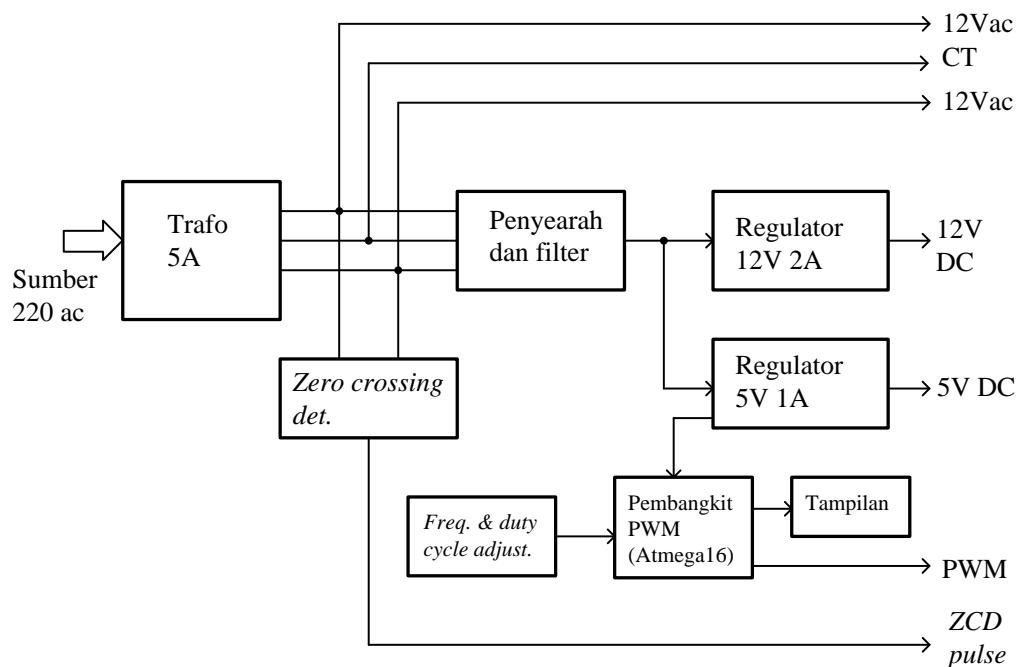


Gambar 2. Pemicuan TRIAC *on-off* dengan PWM

Pembangkitan pulsa ZCD dapat juga menggunakan diode penyearah gelombang penuh dan satu buah optoisolator atau tanpa penyearahan dan memerlukan dua buah komponen optoisolator. Prinsip kerjanya adalah sama dan komponen diode penyearah gelombang penuh harus diperhitungkan batas tegangan kerjanya atau *reverse blocking voltage* agar tidak putus pada tegangan ac yang tinggi. Penentuan resistor pembatas dihitung berdasar kemampuan arus optoisolator yang digunakan dan lebar pulsa ZCD yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

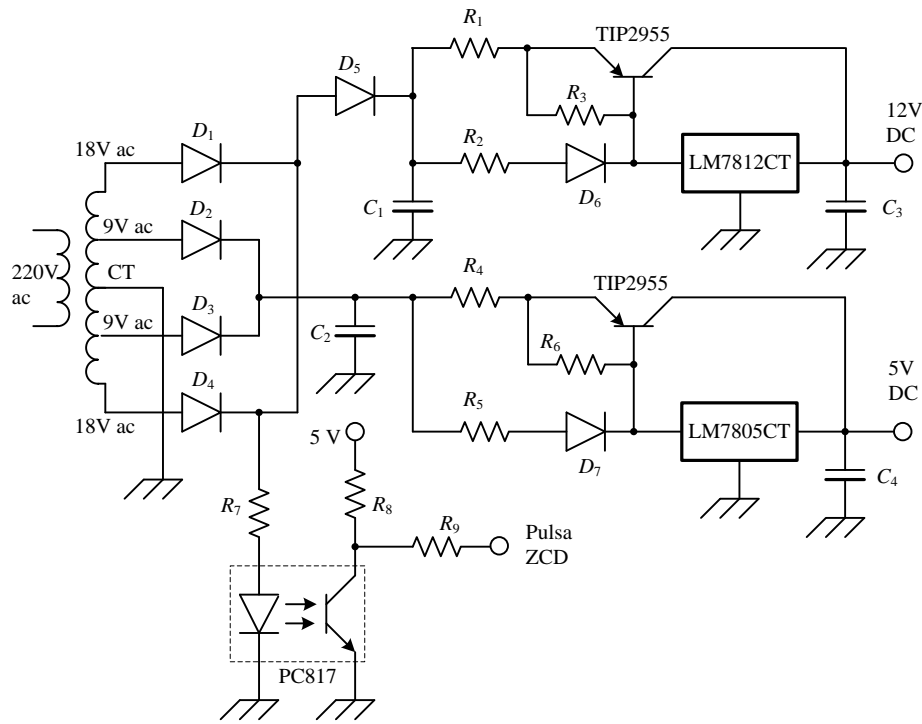
Diagram blok perangkat catu daya linier dengan rangkaian ZCD dan pembangkit PWM ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 3. Diagram blok perangkat catu daya linier

2.1 Rancangan Catu Daya

Rangkaian catu daya dc dengan keluaran 5 volt dan 12 volt ditambahkan penguat arus berupa elemen pelewat jenis BJT yang tersusun parallel. Penggunaan IC regulator LM7805CT untuk keluaran 5V dan LM7812CT untuk keluaran 12V dipertimbangkan dari kesederhanaan rangkaian dan cukup handal karena telah dilengkapi dengan pengaman hubung singkat dan panas lebih. Penguat arus menggunakan BJT jenis pnp MJ2955 yang terhubung parallel dengan basis terhubung ke masukan IC regulator. Dengan susunan tersebut, kendali BJT tetap dilakukan oleh IC regulator. Kedua komponen aktif tersebut diberi keping pendingin dengan cukup sehingga waktu hubung singkat, keduanya tidak mengalami kerusakan. Keping pendingin BJT terhubung ke badan perangkat yang terbuat dari aluminium dengan ketebalan 1mm.



Gambar 4. Skema rangkaian catu daya linier dan ZCD

Rangkaian regulator untuk keluaran 12 volt identik dengan regulator 5 volt sehingga rancangannya juga sama dan hanya berbeda pada notasi komponennya saja. Nilai resistor pembagi arus antara IC regulator dan BJT ditetapkan 1:3. Arus yang lewat BJT, I_1 berharga 3 kali arus yang lewat IC regulator (I_2). Pada rancangan arus maksimal 1A maka $I_1 = 750$ mA dan $I_2 = 250$ mA. Jika tegangan jatuh pada terminal emittor-basis sama dengan tegangan jatuh pada dioda (D_6) maka perbandingan arus di atas ditetapkan dari nilai R_1 dan R_2 . Nilai $R_1 = R_4$ dan $R_2 = R_5$.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{3}{1} \tag{1}$$

Jika ditetapkan $V_{R1} = V_{R2} = 1$ volt maka nilai R_1 dan R_2 dapat dihitung,

$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I_1} = 1,3 \Omega/2W \tag{2}$$

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I_2} = 4 \Omega/2W \tag{3}$$

Perhitungan keperluan keping pendingin berdasar pada dissipasi daya maksimal ($P_{D(max)}$), suhu lingkungan (T_A), suhu junction maksimal dan hambatan panas *junction-case* masing-masing semikonduktor (θ_{J-C}). Dissipasi daya maksimal akan terjadi pada saat hubung singkat karena beda tegangan masukan-keluaran menjadi tertinggi. Tegangan puncak hasil penyearahan 18Vac adalah 25,7 volt. Tegangan masukan LM7812 dan emittor BJT kira-kira 23,7 volt karena adanya tegangan jatuh pada dioda penyearah dan V_{R1} . Jika digunakan keping pendingin dengan hambatan panas, $\theta_{SA} = 12$ °C/W, hambatan sekat, $\theta_{CS} = 1$ °C/W, hambatan panas *junction-case* = 4 °C/W maka hambatan panas total yang diperlukan oleh LM7812 pada $T_A = 35^\circ$ C dapat dihitung. [2]

$$\theta_{JA(tot)7812} = \theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA} = 17 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$P_{DSC} = \frac{T_{jmax} - T_A}{\theta_{JA(tot)}} \quad (4)$$

$$P_{DSC} = 90/17 = 5,29 \text{ watt}$$

Arus hubung singkat adalah, $I_{SC} = 6W/23,7 = 0,223 \text{ A}$ dan arus hubung singkat BJT adalah $3 \times 0,223 \text{ A} = 0,669 \text{ A}$. Dissipasi daya BJT saat hubung singkat adalah, $0,699 \text{ A} \times 25,7 \text{ V} = 17,964 \text{ W}$ dan keperluan keping pendingin BJT dapat dihitung. Berdasar datasheet TIP2955 diperoleh data, hambatan panas junction-case, $\theta_{JC} = 1,39 \text{ }^\circ\text{C/W}$ dan suhu junction maksimal, $T_{J(max)} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$. Hambatan panas keping pendingin yang diperlukan dihitung dari hambatan panas total saat hubung singkat dikurangi dengan hambatan panas sekat dan junction-case. Hambatan panas total dihitung berdasar keadaan hubung singkat.[3]

$$\theta_{JA(tot)} = \frac{T_j - T_A}{P_D} \quad (5)$$

$$\theta_{JA(tot)} = 6,39 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$P_{DSC} = V_{EC} \times I_{SC} = 15,86 \text{ W}$$

$$\theta_{SABJT} = \theta_{JA(tot)} - \theta_{JC} - \theta_{CS} \quad (6)$$

Pada kontak langsung case ke heat-sink, hambatan panas sekat, $\theta_{CS} = 1 \text{ }^\circ\text{C/W}$ sehingga,

$$\theta_{SABJT} = 7,25 \text{ }^\circ\text{C/W} \text{ dengan case 340L atau TO-247}$$

Digunakan keping pendingin jenis SW38 produk dari Aavid Thermalloy

2.2 Rancangan Rangkaian ZCD

Input rangkaian *zero crossing detector* diambil dari gelombang hasil penyearahan penuh pada jalur catu daya sebelum kapasitor tapis, Untuk mendapatkan bentuk benar-benar gelombang penyearahan gelombang-penuh maka ditambahkan sebuah dioda sebagai penghalang atau bloking arus agar gelombang yang diumpungkan untuk optoisolator tetap berbentuk gelombang hasil penyearahan gelombang-penuh. Tanpa dioda bloking, optoisolator tidak dapat menghasilkan pulsa ZCD karena akan mendapatkan gelombang dc bertapis atau tidak memiliki amplitud rendah yang menyentuh nol. Komponen optoisolator mendapat catu daya 5 volt dari regulator dan arus dioda pemancar dibatasi dengan resistor seperti terlihat dalam skema Gambar 4.

Catu daya rangkaian ZCD diambilkan dari keluaran regulator 5 volt. Optoisolator yang digunakan adalah PC817 dengan arus maju dioda maksimal sama dengan arus kolektor maksimal, $I_{F(max)} = I_{C(max)} = 50 \text{ mA}$. Jika pada saat tegangan puncak gelombang hasil penyearahan, $V_{max} \approx 25,7 \text{ V}$, dapat mengalirkan arus dioda sebesar 20 mA, tegangan maju, $I_F = 1,2 \text{ V}$ maka nilai R_7 adalah,

$$R_7 = \frac{V_{max} - V_F}{I_F} \quad (7)$$

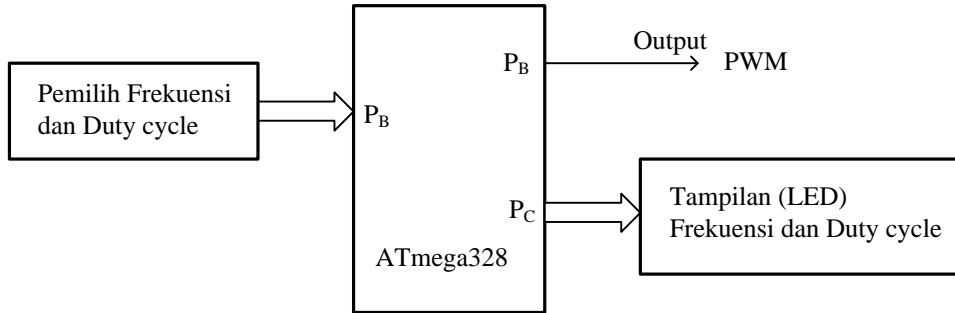
$$R_7 = 1225 \text{ } \Omega \approx 1 \text{ k} \Omega$$

Resistansi kolektor, R_8 ditetapkan untuk arus kolektor $I_C = 20 \text{ mA}$, Jika $V_{CE(sat)}$ sangat rendah maka nilai $R_8 \approx 220 \text{ } \Omega$. Nilai resistor dipertimbangkan dari arus kolektor maksimal dan besarnya pengurangan tegangan yang terjadi.

2.3 Rancangan Pembangkit PWM

Rangkaian pembangkit PWM menggunakan microcontroller ATmega328 dan catu daya diambil dari output regulator 5V. Pengaturan *on-off* menggunakan PWM dan dalam perencanaan ini ditetapkan nilai *duty cycle* ada 4 variasi, yaitu 20%, 50%, 70% dan 100 %. Penentuan frekuensi PWM berdasarkan pada tetapan lebar pulsa terendah dan jumlah perioda gelombang sinus yang diinginkan atau yang dilewatkan oleh TRIAC ke beban. Variasi frekuensi hanya 2 yaitu, 1 Hz dan 2 Hz. Pemilihan nilai frekuensi dilakukan dengan tekan tombol *rotary encoder switch* sedang pemilihan *duty cycle* dilakukan dengan memutar lengan *rotary encoder* maju (CW) atau mundur (CCW). [4]

Tampilan untuk frekuensi maupun *duty cycle* terpilih menggunakan LED ukuran 3 mm dan dengan penanda pada panel depan kotak perangkat. LED akan menyala pada nilai frekuensi dan *duty cycle* yang terpilih. Tetapan frekuensi saat perangkat dihidupkan adalah 1 Hz dan *duty cycle* 20%.



Gambar 5. Diagram blok rangkaian pembangkit PWM

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Hasil pengujian rangkaian catu daya linier 5 dan 12 volt dengan beban resistip ditunjukkan dalam Tabel 1. Besarnya perubahan tegangan keluaran terhadap nilai nominal menunjukkan bagus tidaknya rangkaian menjaga stabilisasi tegangan terhadap beban maupun terhadap perubahan tegangan masukan. Nilai perubahan tegangan keluaran yang terjadi karena perubahan arus beban disebut regulasi beban atau *load regulation (LR)* yang dituliskan dalam persamaan berikut,[5]

$$LR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_N} \times 100\% \tag{8}$$

Keterangan:

LR = Regulasi beban

V_{NL} = Tegangan keluaran tanpa beban

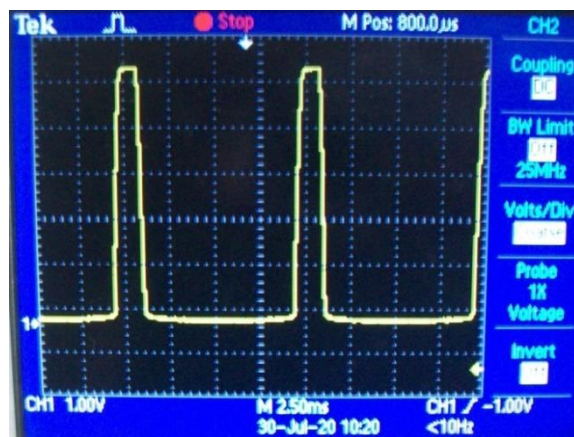
V_{FL} = Tegangan keluaran beban penuh

Berdasar Persamaan 3.1 maka $LR_5 = 4\%$ dan $LR_{12} = 2\%$

Pengujian keadan hubung singkat untuk keluaran regulator 5V dan 12V dilakukan dalam waktu kurang-lebih 1 menit dan tidak menimbulkan kerusakan,

Tabel 1 Data pengujian regulator 5V dan 12V

Arus beban (mA)	Tegangan output Regulator 5V	Tegangan output Regulator 12V
0	5,1 V	12,1 V
100	5,05 V	12,04 V
300	5,02 V	12,01 V
500	5,00 V	11,94 V
700	4,95 V	11,90 V
1.000	4,90 V	11,85 V



Gambar 6. Bentuk gelombang keluaran rangkaian ZCD

Bentuk gelombang pulsa output rangkaian ZCD ditunjukkan dalam Gambar 7. Pulsa output rangkaian ZCD memiliki waktu transisi naik dan turun yang sama atau sekitar 1ms. Amplitudo cukup tinggi atau sekitar 5,2 volt.



Gambar 7. Bentuk gelombang PWM

3.2. Pembahasan

Berdasar data hasil pengujian rangkaian catu daya terdapat penurunan tegangan output yang cukup kecil atau dalam ukuran regulasi beban adalah 4% dan 2%. Pengaruh kenaikan suhu dalam kotak perangkat dikurangi dengan banyak lobang ventilasi serta bahan kotak dibuat dari aluminium dengan ketebalan 1 mm. Berdasar lembar data komponen, kenaikan suhu dapat mempengaruhi kemampuan pengaliran arus output.

Pulsa keluaran rangkaian ZCD terlihat cukup runcing karena gelombang hasil penyearahan yang cukup tinggi sehingga waktu *on* dan *off* transistor dalam PC817 menjadi lebih cepat. Resistor keluaran sebesar 100 Ω ditambahkan sebagai pengaman waktu hubung singkat terhadap tegangan catu daya 5V. Sedangkan penentuan frekuensi PWM 1 Hz dan 2 Hz adalah berdasar terapan pengaturan pemicuan TRIAC secara *on-off* dan nilai *duty cycle* yang disediakan.

4. KESIMPULAN

Perangkat catu daya dengan pulsa ZCD serta PWM dapat dibangun dengan perhitungan yang cermat dan menghasilkan nilai-nilai keluaran, seperti tegangan output, arus output hingga 1A, pulsa ZCD yang runcing dan PWM dengan amplitude yang cukup untuk terapan berstandar TTL. Pengaman hubung singkat pada regulator ditentukan dari nilai hambatan panas keping pendingin dan suhu lingkungan sedangkan pengaman hubung singkat pada keluaran rangkaian ZCD dan PWM menggunakan resistor 100 Ω

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fathoni, *Modul Ajar Elektronika Daya*, Politeknik Negeri Malang, 2014
- [2] Fathoni, "Unjuk Kerja Catu Daya 12 Volt Pass Element Transistor NPN dan PNP" *NEUTRINO Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 3, no. 1, pp. 1-8, Oktober 2010.
- [3] Liew Elmunds, "Application Note AN-1057, Heatsink Characteristics", *International Rectifier*, 2002
- [4] Fathoni, "Rancangbangun Perangkat Pembangkit Bipolar PWM", *Jurnal ELTEK* Vol.16 No.1 April 2018
- [5] Nikola Zlatanov, "DC Power Supplies, Applications and Measurements" *Technical Report, Research Gate, January 2017*
- [6] Anonim, "TIP2955, TIP3055 Datasheet", *Semiconductor Componens Industries, LLC 2012*
- [7] Anonim, "78XX Series Voltage Regulators", *National Semiconductor Corporation, 2000*
- [8] Anonim, "Basic Characteristics and Application Circuit Desain of Transistor Couplers" *Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation, 2018*