



Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Dengan Modifikasi IC
Untuk Mengurangi *Output Ripple* Gelombang DC
*Full Wave Rectifier Circuit With IC Modification To Reduce DC Wave Ripple
Output*

Mohammad Fadhil Aulia¹, Adi Mulyadi^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol No. 22
Kertosari, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia, 68418

¹fadhilaulia00@gmail.com, ²adimulyadi@unibabwi.ac.id*

*adimulyadi@unibabwi.ac.id

Abstract

This paper presents a novel full-wave rectifier to reduce an output ripple of DC wave. Several filter variations have been applied, but the filter output produces a ripple wave output. Therefore, variations of IC 7812, 7815, 7818 and 7824 are proposed to reduce the ripple wave output. The full wave rectifier circuit is designed to regulate the diode output voltage, output current, VRMS and DC motor rotation. The results of applying the IC show that the output ripple can be reduced based on the voltage variation settings on each IC. The greater the variation in IC output voltage, the greater the output voltage, current, VRMS and motor rotation. Meanwhile, the ripple output shows variations in values of 0.252, 0.023, 0.025 and 0.023. The input voltage does not affect the full wave rectifier circuit even though the diode output voltage, current, rpm, VRMS and output ripple vary.

Keywords: Full Wave Rectifier, Integrated Circuit, DC Wave Ripple

Abstrak

Tulisan ini membahas penyearah gelombang penuh untuk mengurangi *output ripple* gelombang DC. Beberapa variasi filter telah diterapkan, namun *output* filter menghasilkan *output* gelombang *ripple*. Oleh sebab itu, variasi IC 7812, 7815, 7818 dan 7824 diusulkan untuk mengurangi *output* gelombang *ripple*. Rangkaian penyearah gelombang penuh dirancang untuk mengatur tegangan *output* dioda, arus *output*, vrms dan putaran motor dc. Hasil penerapan IC menunjukkan bahwa *output ripple* dapat diturunkan berdasarkan pengaturan variasi tegangan pada masing-masing IC. Semakin besar variasi tegangan *output* IC, maka *output* tegangan, arus, vrms, dan putaran motor semakin meningkat. Sedangkan *output ripple* menunjukkan variasi nilai 0.252, 0.023, 0.025 dan 0.023. Tegangan *input* tidak mempengaruhi pada rangkaian penyearah gelombang penuh walaupun tegangan *output* dioda, arus, rpm, vrms dan *output ripple* bervariasi.

Kata kunci: Penyearah Gelombang Penuh, *Integrated Circuit*, *Ripple* Gelombang DC

1. Pendahuluan

Penyearah gelombang penuh disearahkan dengan prinsip siklus penuh pada gelombang sinus AC [1]. Gelombang sinus AC yang disearahkan pada DC menyebabkan *ripple* [2]. *Ripple* gelombang dapat diatasi dengan komponen penyearah dioda [3] dan kapasitor sebagai *filter* [4]. Komponen penyearah dioda disuplai pada tegangan rendah ± 3 volt dan konsumsi daya rendah [5]. Penyearah gelombang dibagi dua yaitu setengah gelombang (*half-wave rectifier*) dan gelombang penuh (*full-wave rectifier*) [6]. Penyearah setengah gelombang memiliki arus rendah kurang lebih dari 1 *Ampere*. Namun, *half-wave rectifier* menyebabkan bias arus yang besar atau menghalangi tegangan [7]. Sedangkan *full-wave rectifier* mempunyai *ripple* gelombang lebih kecil berdasarkan variasi nilai kapasitansi [8].

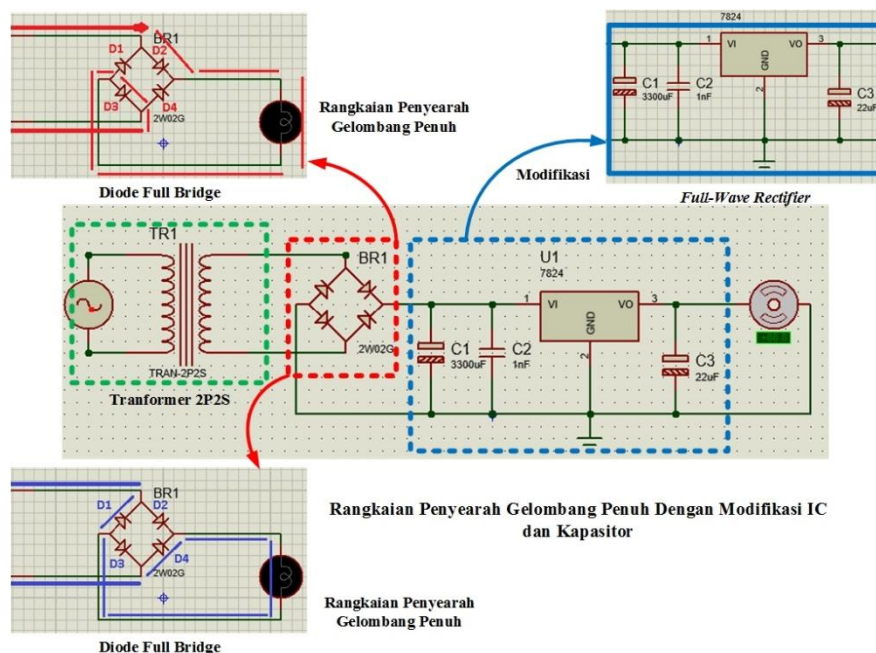
Full-wave rectifier telah diaplikasikan untuk mengurangi *ripple output* gelombang dengan *single phase* [9], pengendali arus AC/DC *converter* dengan *piezoelectric* [10], *ripple* pada sistem kelistrikan dengan menggunakan *chopper* [11], *buck converter* dengan sistem kendali *fuzzy* [12], *rectifier* dengan dua sistem *bipolar memristive* [13], kontrol frekuensi tinggi dengan *floating current source* dan transistor MOS [14], *rectifier* digunakan untuk mengendalikan arus beban R-L [15], *half-wave thyristor rectifier* diaplikasikan untuk mengendalikan *photo voltage* (PV) [16], *full-wave* dan *half-wave rectifier* diterapkan pada *operational transresistance amplifier* dengan 4 dioda dan resistor [17], penurunan frekuensi tinggi dan presisi *full-wave rectifier* pada dua beban secara simetris menggunakan *resistor* yang dihubungkan ke *ground* serta transistor MOS [18].

Pengurangan *ripple* pada *output* gelombang juga menerapkan rangkaian *filter* seperti *RC-Filter*, *Inductive Filter*, *LC Filter* dan *Phi Filter* [19]. *RC-Filter* menghasilkan *output* gelombang dengan waktu tetap yang lebih baik dibandingkan periode $RC=5(T/2)$. Tegangan *ripple* (*peak to peak* dan nilai *rms*) dan rata-rata tegangan *output* ditentukan dengan rangkaian waktu tetap *RC* [20]. *Inductive Filter* dengan variasi *inductor* dan *resistor* yang dihubungkan seri dapat menyetabilkan *ripple* dan meningkatkan *output* arus [21]. *LC-Filter* digunakan sebagai *filter* harmonisa tegangan sumber tiga fasa pada *inverter*. Selain itu, *LC-Filter* dapat membatasi kinerja *inverter* dalam kondisi berbeban dengan arus dan tegangan yang kecil [22]. Sedangkan *Phi-Filter* dapat membatasi arus dan tegangan yang berlebih dengan variasi nilai kapasitansi walaupun menyebabkan *ripple*. *Ripple* dapat diturunkan dengan kombinasi rangkaian *LC-Filter* [23].

Berdasarkan penurunan *ripple* pada *output* tegangan di atas tampak bahwa belum menyentuh pada modifikasi teknologi *Integrated Circuit* (IC). Oleh sebab itu, modifikasi IC diusulkan untuk mengurangi *output ripple* pada gelombang DC *full-wave rectifier*. Rangkaian *full-wave rectifier* dengan modifikasi IC 7812, 7815, 7818, 7824, nilai kapasitansi C1 3300 μ F, C2 1nF, dan C3 22 μ F. Rangkaian dirancang pada *proteus* dan analisis *ripple* berdasarkan gelombang *output* DC. Tujuan penerapan *full-wave rectifier* digunakan untuk beban motor dc dan variasi putaran RPM.

2. Metodologi

Metode menggunakan eksperimen dengan modifikasi IC 7812, 7815, 7818, 7824, nilai kapasitansi C1 3300 μ F, C2 1nF, dan C3 22 μ F dan perancangan rangkaian *rectifier full-wave* pada *proteus*. Rangkaian disimulasikan berdasarkan tegangan *input* yang konstan, tegangan *output rectifier*, arus *output rectifier*, rpm motor DC dan variasi IC yang dijelaskan pada gambar 1. Hasil eksperimen dianalisis berdasarkan *output ripple* gelombang DC dengan perhitungan.



Gambar 1. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Dengan Modifikasi IC dan Kapasitor

Input tegangan 220 volt menyuplai *transformer step down* dengan *full-wave rectifier* 4 dioda (D1, D2, D3, D4). Jika D1 dan D3 menyala atau siklus setengah gelombang positif, maka D2 dan D4 memiliki siklus setengah gelombang negatif [24]. *Output* gelombang *transformer step down* disearahkan menjadi gelombang positif dengan melewati arus 1 *Ampere* dan tegangan 0.7 volt pada empat dioda [25]. Siklus terjadi secara terus-menerus hingga *output* gelombang sesuai. Rangkaian kapasitor yang dihubungkan seri berfungsi sebagai waktu *charge* atau *discharge*. Waktu yang dibutuhkan 63% dari pengisian tegangan, sedangkan waktu yang dibutuhkan dari *discharge* 37% untuk melewati tegangan pada kapasitor C1 dan C2 [26]. IC LM7824 digunakan sebagai pengaturan tegangan *output* dari dioda penyearah gelombang penuh dan kapasitor C3. *Output* tegangan yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan motor dc. Variasi putaran motor dc tergantung pada *output* tegangan yang diatur oleh LM7824 [27]-[28].

Selanjutnya, tegangan *input* dianalisis dengan persamaan rata-rata tegangan, nilai *root mean square* (rms) dan *ripple factor* [29]. Tegangan *input* AC dijelaskan sebagai arus yang mengalir secara periodik, sedangkan tegangan berbalik terhadap arus. Tegangan AC dari gelombang secara periodik dijelaskan pada persamaan (1), (2), (3) berikut, dimana $\omega = 2\pi/T$ disebut sudut frekuensi dari gelombang dan T adalah tegangan mencapai waktu pada gelombang penuh. Sehingga nilai rata-rata tegangan AC yang melewati waktu osilasi satu gelombang penuh adalah nol [26]. Nilai rms digunakan untuk menghitung tegangan puncak setiap variasi *output* gelombang pada persamaan (4), (5), dan *ripple factor* terjadi pada konversi gelombang AC ke gelombang DC dengan meninjau selisih antara nilai rms tegangan AC dan tegangan DC dari penyearah pada persamaan (6) [30].

Persamaan (1), (2) dan (3) menjelaskan tegangan *input* AC yang memiliki gelombang sinusoidal dalam waktu periodik. Dimana, $V(t)$ periode waktu T dan $\omega = 2\pi/T$ frekuensi sudut dari satu gelombang penuh, dan V_m batas puncak gelombang positif [26].

$$V(t) = V_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$\bar{V}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \quad (2)$$

$$V_{avg} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} V(t) dt \quad (3)$$

Persamaan (4) dan (5) menjelaskan perhitungan tegangan *output*. V_{rms} mempunyai *ouput* DC yang berbentuk pulsa pada penyearah gelombang penuh. Sehingga tegangan *output* dihitung sebagai berikut [26].

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

Persamaan (6) menjelaskan penyearah tegangan *input* AC terhadap tegangan DC yang memiliki bentuk *ripple factor* antara nilai rms tegangan AC dan tegangan DC. Dimana, $V_r(rms)$ nilai tegangan AC dan V_{dc} nilai total tegangan *output* DC [26].

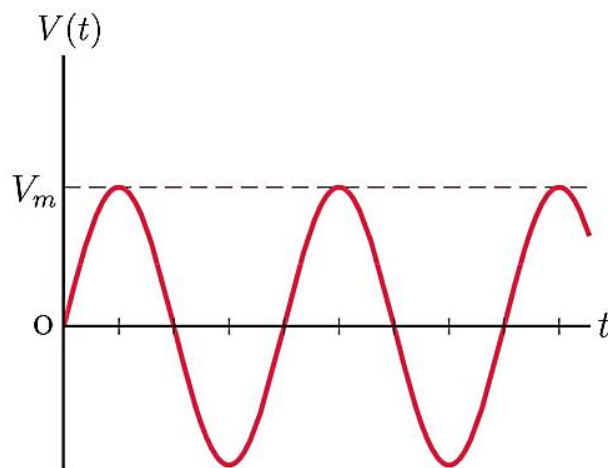
$$\gamma = \frac{V_r(rms)}{V_{dc}} \quad (6)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 menunjukkan hasil *pengujian* dari penyearah gelombang penuh dengan variasi IC. Hasil *output* gelombang yang disearahkan dijelaskan pada masing-masing gambar 3, 4, 5, dan 6.

Tabel 1. Hasil Pengujian Penyearah Gelombang Penuh Dengan Variasi IC

No	Vin	Vout (dc)	Iout	RPM	IC	Vrms	Ripple
1	218	11.9	0.50	495	7812	0.30	0.025
2	218	14.9	0.63	615	7815	0.35	0.023
3	218	17.8	0.74	743	7818	0.45	0.025
4	218	23.2	0.95	950	7824	0.55	0.023



Gambar 2. Output Gelombang Transformer Center Tap

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *input* tegangan 220 menghasilkan gelombang *output* sinus berdasarkan persamaan matematis (1), (2), dan (3) yang ditunjukkan pada gambar 2. Gelombang *output* yang dihasilkan oleh persamaan dalam satu gelombang penuh memiliki nilai rata-rata sama dengan nol. V_m mempunyai nilai bervariasi berdasarkan *input* tegangan. Namun, *output* gelombang yang disearahkan dengan rangkaian dioda *full-bridge* menghasilkan *output ripple* yang lebih kecil. *Ripple* dapat dikurangi dengan menggunakan variasi IC 7812, 7815, 7818, dan 7824.

$$\bar{V}(t) = V_m \int_0^T \sin(\omega t) dt \quad (7)$$

$$\bar{V}(t) = \frac{V_m}{T} \left[-\frac{\cos(\omega t)}{\omega} \right]_0^T$$

$$\bar{V}(t) = \frac{V_m}{\omega T} \{-\cos(\omega T) + \cos 0\}$$

$$\bar{V}(t) = \frac{V_m}{2\pi} \{-\cos(2\pi) + \cos 0\}$$

$$\bar{V}(t) = \frac{V_m}{2\pi} (-1 + 1)$$

$$\bar{V}(t) = 0$$

Hasil *output* gelombang dengan variasi IC 7812 ditunjukkan pada gambar 3. Gelombang sinus warna kuning merupakan *output* dari transformer, gelombang warna biru adalah *output* dari *full-bridge rectifier*, dan gelombang warna merah yaitu *output* penyearah dengan variasi IC. Tegangan puncak (*peak voltage*) gelombang *output* positif transformer sebesar 305 volt dan *peak voltage* gelombang *output* negatif sebesar -305 volt. *Peak voltage* yang dihasilkan oleh *output* gelombang positif *full-bridge rectifier* yaitu 14 volt dan pada *output* gelombang negatif -14 volt. Sedangkan *peak voltage* yang diperoleh dengan variasi IC menghasilkan *output* gelombang positif sebesar 600 mV (0.6 volt) dan *output* gelombang negatif sebesar -600 mV (-0.6 volt). Tegangan V_{rms} diperoleh dengan persamaan (8) berikut.

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \quad (8)$$

$$V_{rms} = \frac{0.6}{2}$$

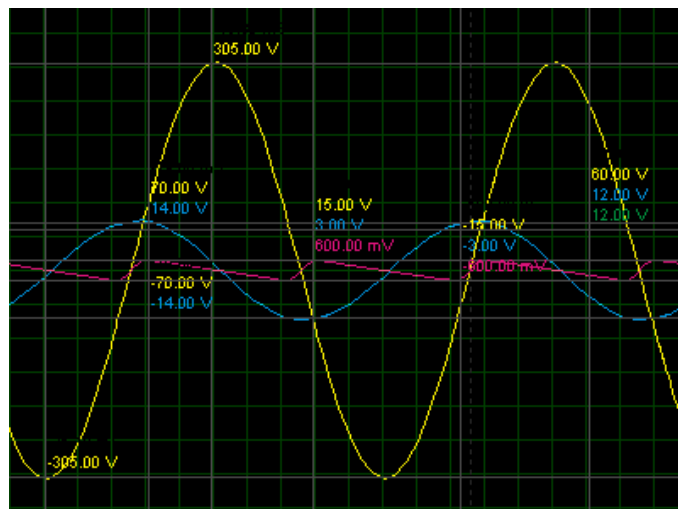
$$V_{rms} = 0.3$$

Dimana, *output ripple* diperoleh dengan persamaan (9) berikut.

$$\gamma = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \quad (9)$$

$$\gamma = \frac{0.3}{11.9}$$

$$\gamma = 0.025$$



Gambar 3. Output Gelombang Menggunakan IC 7812

Variasi *output* gelombang pada *full-bridge rectifier* dapat memberikan penurunan tegangan yang signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh kemampuan IC 7812 dalam pengaturan tegangan sebesar 5.2 volt, arus *short circuit* 1.2 A, dan *drop voltage* 2.5 volt [27], [31]. Selain itu, *output* tegangan *ripple* diperoleh sebesar γ 0.025 dengan nilai V_{rms} 0.2 volt, *output* arus 0.50 A, dan putaran motor sebesar 495 rpm. *Output* tegangan Vdc mempengaruhi arus dan putaran motor pada beban penyearah gelombang penuh [32]. Semakin besar *output* tegangan Vdc, maka arus yang dihasilkan semakin kecil dan putaran motor semakin meningkat. Putaran motor dikendalikan dengan besar *output* tegangan dan arus di setiap variasi IC [33].

Hasil *output* gelombang dengan variasi IC 7815 ditunjukkan pada gambar 4. Gelombang sinus warna kuning merupakan *output* dari transformer, gelombang warna biru adalah *output* dari *full-bridge rectifier*, dan gelombang warna merah yaitu *output* penyearah dengan variasi IC. Tegangan puncak (*peak voltage*) gelombang *output* positif transformer sebesar 305 volt dan *peak voltage* gelombang *output* negatif sebesar -305 volt. *Peak voltage* yang dihasilkan oleh *output* gelombang positif *full-bridge rectifier* yaitu 14 volt dan pada *output* gelombang negatif -14 volt. Sedangkan *peak voltage* yang diperoleh dengan variasi IC menghasilkan *output* gelombang positif sebesar 700 mV (0.7 volt) dan *output* gelombang negatif sebesar -700 mV (-0.7 volt). Tegangan V_{rms} diperoleh dengan persamaan (10) berikut.

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \quad (10)$$

$$V_{rms} = \frac{0.7}{2}$$

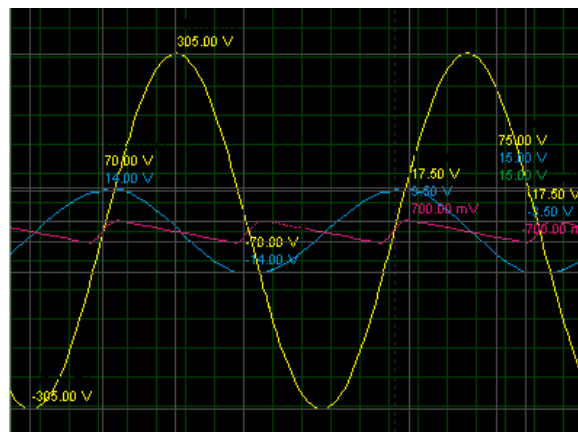
$$V_{rms} = 0.35$$

Dimana, *output ripple* diperoleh dengan persamaan (11) berikut.

$$\gamma = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \quad (11)$$

$$\gamma = \frac{0.35}{14.9}$$

$$\gamma = 0.023$$



Gambar 4. Output Gelombang Menggunakan Variasi IC 7815

Variasi *output* tegangan setiap IC memiliki penurunan tegangan sebesar 0.7 volt. Penurunan tegangan dipicu oleh *trigger* pada setiap kapasitor (C_1 , C_2 dan C_3) setelah melewati penyearah gelombang penuh. Nilai masing-masing kapasitansi C_1 sebesar $3300\mu\text{F}$, C_2 yaitu 1nF , dan C_3 adalah $22\mu\text{F}$. Sedangkan *output* tegangan *ripple* yang dihasilkan meningkat sebesar 0.023. *Output* tegangan *ripple* dipengaruhi oleh perbedaan antara nilai tegangan V_{rms} dan V_{dc} pada persamaan (10) serta (11) [34]. Peningkatan tegangan *ripple* dipengaruhi oleh IC yang berfungsi sebagai pengendalian tegangan dan arus dalam satu siklus gelombang penuh [35]. Pengukuran *input* tegangan (warna kuning) untuk mencapai *peak voltage* menunjukkan sebesar 70 volt, dan -70 volt dalam satu gelombang penuh. Namun, pengukuran *output* tegangan yang melewati dioda penyearah gelombang penuh (warna biru) sebesar 3.50 vdc. Tegangan *input* AC pada gelombang sinus mengalami penurunan setelah melewati penyearah sebesar 66.5 volt. Hal ini membuktikan bahwa rugi-rugi daya pada transformer terjadi akibat beban yang tidak linier. Selain itu, frekuensi yang dihasilkan pada harmonina gelombang adalah 50 Hz [36]. Tegangan *output* yang dihasilkan digunakan untuk menyuplai beban motor dc, putaran motor dc dapat diukur hingga mencapai 615 rpm.

Hasil *output* gelombang dengan variasi IC 7818 dijelaskan pada gambar 5. Gelombang sinus warna kuning merupakan *output* dari transformer, gelombang warna biru adalah *output* dari *full-bridge rectifier*, dan gelombang warna merah yaitu *output* penyearah dengan variasi IC. Tegangan puncak (*peak voltage*) gelombang *output* positif transformer sebesar 305 volt dan *peak voltage* gelombang *output* negatif sebesar -305 volt. *Peak voltage* yang dihasilkan oleh *output* gelombang positif *full-bridge rectifier* yaitu 15 volt dan pada *output* gelombang negatif -15 volt. Sedangkan *peak voltage* yang diperoleh dengan variasi IC menghasilkan *output* gelombang positif sebesar 900 mV (0.9 volt) dan *output* gelombang negatif sebesar -900 mV (-0.9 volt). Tegangan V_{rms} diperoleh dengan persamaan (12) berikut.

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

$$V_{rms} = \frac{0.9}{\sqrt{2}}$$

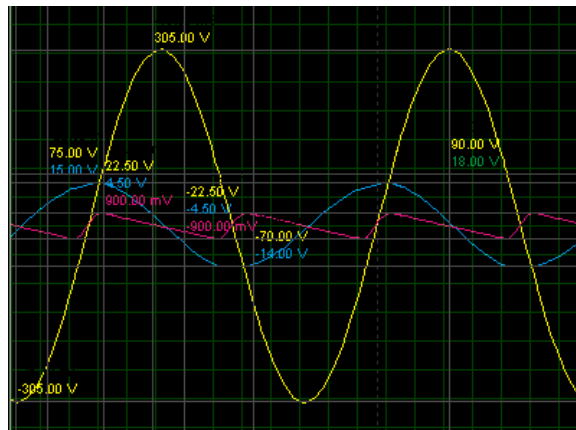
$$V_{rms} = 0.45$$

Dimana, *output ripple* diperoleh dengan persamaan (13) berikut.

$$\gamma = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{0.45}{17.8}$$

$$\gamma = 0.025$$



Gambar 5. Output Gelombang Menggunakan Variasi IC 7818

Tegangan *input* konstan 218 volt menghasilkan tegangan *output* transformer sebesar 350 pada puncak gelombang positif, dan -350 volt pada puncak gelombang negatif. Suplai tegangan konstan tidak mempengaruhi *output* gelombang yang dihasilkan oleh transformer. Namun, pada tegangan *output* yang dihasilkan pada saat melewati penyearah gelombang penuh menurun hingga 14 volt. Penurunan tegangan pada sisi penyearah mengakibatkan tegangan V_{rms} 0.45 volt dan *output ripple* sebesar 0.025. Hal ini disebabkan lilitan sekunder transformer lebih kecil dibandingkan lilitan pada sisi primer [37]. Tegangan *output* transformer disearahkan melewati rangkaian penyearah gelombang penuh untuk menghasilkan tegangan *output* 15 volt dc. Kemudian tegangan *output* 15 volt dc disuplai pada beban dan menggerakkan motor dc. Putaran motor sebesar 743 rpm berdasarkan pengaturan IC 7818.

Hasil *output* gelombang dengan variasi IC 7824 ditunjukkan pada gambar 6. Gelombang sinus warna kuning merupakan *output* dari transformer, gelombang warna biru adalah *output* dari *full-bridge rectifier*, dan gelombang warna merah yaitu *output* penyearah dengan variasi IC. Tegangan puncak (*peak voltage*) gelombang *output* positif transformer sebesar 305 volt dan *peak voltage* gelombang *output* negatif sebesar -305 volt. *Peak voltage* yang dihasilkan oleh *output* gelombang positif *full-bridge rectifier* yaitu 14 volt dan pada *output* gelombang negatif -14 volt. Sedangkan *peak voltage* yang diperoleh dengan variasi IC menghasilkan *output* gelombang positif sebesar 1.10 volt dan *output* gelombang negatif sebesar -1.10 volt. Tegangan V_{rms} diperoleh dengan persamaan (13) berikut.

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \quad (13)$$

$$V_{rms} = \frac{1.10}{2}$$

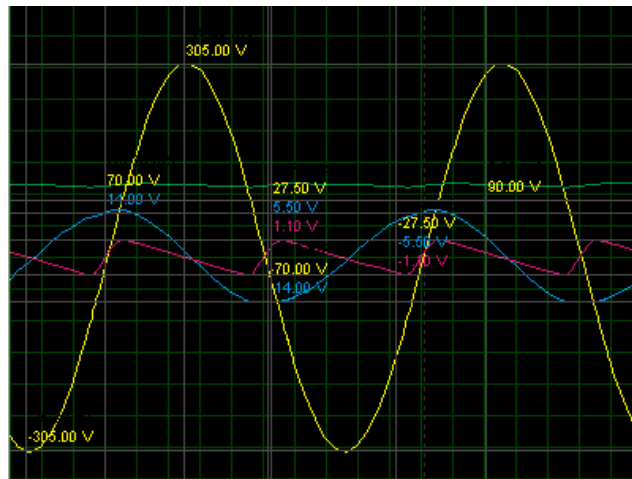
$$V_{rms} = 0.55$$

Dimana, *output ripple* diperoleh dengan persamaan (14) berikut.

$$\gamma = \frac{V_{r(rms)}}{0.55} \quad (14)$$

$$\gamma = \frac{0.023}{23.2}$$

$$\gamma = 0.001$$



Gambar 6. Output Gelombang Menggunakan Variasi IC7824

Output gelombang menggunakan IC 7824 mempengaruhi pada tegangan output gelombang dc dan output ripple. Tegangan input transformer disuplai 218 volt dan dihubungkan dengan rangkaian penyearah gelombang penuh menggunakan 4 dioda. Hasil tegangan AC dari penyearah gelombang penuh dikonversi menjadi tegangan DC untuk mengendalikan beban motor dc. Putaran motor berbanding lurus dengan tegangan output dioda sebesar 11.9-23.2 vdc [38], output arus 0.50-0.95 A, putaran motor 495-950 rpm, vrms 0.30-0.55 volt, dan output ripple yang bervariasi [39]. Peningkatan output ripple dipengaruhi oleh tegangan vrms dan arus yang meningkat di setiap variasi IC. Sedangkan perbandingan selisih antara output tegangan dioda setelah disearahkan sebesar 14.9 volt dan penerapan IC 7824 sebesar 1.10 volt [40].

4. Kesimpulan

Penerapan variasi IC mempengaruhi output ripple, tegangan output dioda, arus output, vrms dan putaran motor dc dari rangkaian penyearah gelombang penuh. Tegangan input tidak mempengaruhi pada rangkaian penyearah gelombang penuh walaupun tegangan output dioda, arus, rpm, vrms dan output ripple bervariasi. Output ripple dapat diturunkan berdasarkan variasi serta pengaturan tegangan pada IC 7812, 7815, 7818 dan 7824. Semakin besar variasi tegangan output IC, maka output tegangan, arus, vrms, dan putaran motor semakin meningkat. Sedangkan output ripple menunjukkan variasi nilai 0.252, 0.023, 0.025 dan 0.023.

Referensi

- [1] B. Kumar and S. B.Jain, "Full Wave Rectifier," EC8353, 2020.
- [2] S. Mahato, N. Mohanty, I. Pahi, and R. Jena, "A Design of Single Phase Bridge Full-wave Rectifier," *Int. J. Res. Eng. Sci. ISSN*, vol. 5, no. 1, pp. 76–82, 2017.
- [3] A. Arif Rojabi, H. Fatimah Zahra, P. Afriza Fahmi, N. Fadhilaturachman, D. Nuranty Yovanka, and M. Rifyal, "Analisis Half-Wave dan Full-Wave Rectifiers Menggunakan Circuit Lab Online," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 7, no. 2, pp. 329–333, 2023.
- [4] F. He, Y. Yuan, J. Xiao, Z. Han, Y. Fu, and S. Huang, "Switching Capacitor Filter with Multiple Functions , Adjustable Bandwidth in the Range of 5 Hz-10 kHz," *Electronics*, vol. 12, no. 23, pp. 1–27, 2023.
- [5] S. Bay and A. Dabbous, "Full-Wave Rectifier Based on Differential Difference Current Conveyor for LV LP Applications," Universitas of Technology, 2015.
- [6] A. Rosman, "Analisis Ripple Voltage pada Rangkaian Half-Wave Rectifier dan Full-Wave Rectifier Menggunakan Kombinasi Filter Kapasitor dan Resistor," *Indones. J. Fundakental Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 102–109, 2018.
- [7] Gulabsen, S. Singh Solanki, S. Lal, G. Kumar Meena, and R. Verma, "Study of Half Wave Rectifiers," *Int. J. Res. Available*, vol. 04, no. 17, pp. 785–789, 2017.
- [8] G. Alisrobia *et al.*, "Analisis Tegangan Ripple Pada Rangkaian Full Wave Dengan Menggunakan 3 Jenis Filter Berbeda Dalam Circuit Wizard," *J. Ilm. Informatian Technol. d'Computare Vol.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–23, 2023.
- [9] P. Pejović and J. W. Kolar, "Single-phase Full-Wave Rectifier as an Effective Example to teach Normalization, Conduction Modes, and Circuit Analysis Methods," *Electronics*, vol. 17, no. 2, pp. 123–129, 2013.

- [10] M. J. Krašny, C. R. Bowen, C. Michel, and J. T. Taylor, "Transient Analysis of a Current-Driven Full Wave AC/DC Converter for Indirect Characterization of Piezoelectric Devices during Energy Harvesting," *Energy Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 1–7, 2020.
- [11] M. Luthfi, H. Dachlan, and W. Wijono, "Analisis Ripple Masukan Dan Keluaran PWM AC Chopper 3-Fasa Pada Beban Motor Induksi 3-Fasa," *J. EECCIS*, vol. 7, no. 2, pp. 141–146, 2013.
- [12] A. S. Krismadinata, "Rancang Bangun Kendali Fuzzy Logic untuk Tegangan Keluaran Buck Converter," *MSI Trans. Educ.*, vol. 4, no. 2, pp. 95–106, 2023.
- [13] V. Jiri and B. Dalibor, "A Full-Wave Rectifier Based on Memristive Systems," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Modelling, Identification and Control*, 2015, vol. 119, no. Mic, pp. 91–94.
- [14] M. E. Basak and F. Kaçar, "A New Fully Integrated High Frequency Full-wave Rectifier Realization," *Informacije MIDE M*, vol. 45, no. 2, pp. 101–109, 2015.
- [15] A. J. Onah, "Analysis of Controlled Single-phase Full-Wave Rectifier with RL Load," *Eur. J. Eng. Res. Sci.*, vol. 3, no. 12, pp. 25–31, 2018.
- [16] A. Ls, E. Oa, and E. So, "Generation of Control Signals for an AC – DC Converters for a Hybrid Charging System," *IRE J.*, vol. 2, no. 5, pp. 13–18, 2018.
- [17] H. C. Chien, "Full-Phase Operation Transresistance-Mode Precision Full-Wave Rectifier Designs Using Single Operational Transresistance Amplifier," *Act. Passiv. Electron. Components*, vol. 3, no. 3, pp. 1–18, 2019.
- [18] M. J., "Design Of High Precision and Frequency Full Wave Rectifier," *J. VLSI circuits Syst.*, vol. 2, no. 2, pp. 15–17, 2020.
- [19] I. Kar, Shubham, and T. M. T. Thentral, "Comparative Study of Outputs Generated by Different Filtering Circuits," *IJRECE*, vol. 6, no. 3, pp. 1766–1775, 2018.
- [20] A. V. Craciun, "A Simplified Analysis and Design of the Rectifier With Capacitive Filter," *Rev. Roum. Sci. Techn.-Électrotechn. Énerg.*, vol. 49, no. 29, pp. 1–8, 2004.
- [21] A. Michaelides and T. Nicolaou, "Constructing an Integrated Inductive-Capacitive Component to Filter Harmonic Modulations," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 36, no. 4, pp. 2109–2117, 2021.
- [22] S. Mondal, P. K. Gayen, and K. Gupta, "Study on Impact of LC-Filter Parameters under Variable Loading Conditions of Three-Phase Voltage Source Inverter," in *Proceedings of International Conference on 2018 IEEE Electron Device Kolkata Conference, EDKCON 2018*, 2018, pp. 132–136.
- [23] P. Integration, "InnoSwitch3-CE Family," 2022.
- [24] T. F. B. Rectifier, "Full-Wave Bridge Rectifier Circuit Without and With Filter," India, 2017.
- [25] F. Refractories, "Diode Types and Applications," 2017.
- [26] M. A. Rashin, *Rectifier – Half wave rectifier and Full wave rectifier Alternating current (AC)*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [27] ST Microtechnologies, "L7800 Series Datasheet - Positive Voltage Regulators Datasheet," 2003.
- [28] Isc and Iscsemi, "Three Terminal Negative Voltage Regulator," 2020.
- [29] Z. Lu, H. Yang, and A. J. Zhang, "New Magnetic Integration of Full-wave Rectifier with Center-Tapped Transformer," in *Proceedings - 2014 International Power Electronics and Application Conference and Exposition, IEEE PEAC 2014*, 2014, pp. 609–613.
- [30] R. Visintini, A. C. Brady, and J. R. Sambles, "Rectifiers," *Electron Transf. Chem.*, vol. 5, no. 1, pp. 137–155, 2008.
- [31] M. Daud, A. Hasibuan, R. Shobirin H, and W. K. A. Al-Ani, "Battery Charger Regulator With Fully Controlled Rectifier 15 V/5 A On Uninterruptable Power Supply," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 32, 2023.
- [32] P. Harahap, "Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Simulink Matlab," *Media Elektr.*, vol. 9, no. 2, pp. 24–46, 2016.
- [33] A. Supardi, A. Budiman, and N. R. Khairudin, "Pengaruh Kecepatan Putar dan Beban terhadap Keluaran Generator Induksi 1 Fase Kecepatan Rendah," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 16, no. 1, pp. 26–31, 2016.
- [34] Electronics, "Center-Tap Full-Wave Rectifier," 2011.
- [35] Taitron, "100mA Adjustable Positive Voltage Regulator," 2007.
- [36] D. Suhantono, "Rancang Bangun Ac Power Supply Satu Fasa Step Down 230V/12V Dengan Mengoptimalkan Pengurangan Rugi-Rugi Dan Perbaikan Harmonisa," *J. Log.*, vol. 14, no. 2, pp. 75–81, 2014.
- [37] S. S. Sami, M. T. Muhssin, Z. A. Obaid, and A. N. Hussain, "Detailed modelling and simulation of single-phase transformers for research and educational purposes," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 24, no. 1, pp. 37–49, 2021.
- [38] A. Basalamah, B. Adrian, and F. A. Salam, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Dc Menggunakan

- Arduino Uno R3 Dengan Tampilan LCD,” *Logitech Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 33–41, 2019.
- [39] S. Saodah, I. M. Wiwit, A. Deni, D. Sodiq, and B. Puguh, “Pengaruh Harmonisa Penggerak Kecepatan Variabel terhadap Kinerja Motor DC FanTest Set,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 3, p. 505, 2021.
- [40] A. Ragupathy, “Half-wave/Full-wave Rectifiers and Filter Circuits,” 2020.