

Kinerja topologi *flyback* pada SMPS(*Switch Mode Power Supply*)

Indah Martha Fitriani

Universitas Islam Raden Rahmat Malang

indahmartha28@gmail.com

Abstrak. *Power supply* merupakan perangkat elektronika yang berfungsi sebagai penyedia energi listrik bagi perangkat listrik maupun perangkat elektronika lainnya dengan cara merubah energi listrik berjenis AC menjadi DC. Kelemahan dari *power supply* linier adalah memiliki efisiensi yang lebih rendah yaitu <60% dibandingkan dengan SMPS yang berkisar >60%. Efisiensi yang rendah merupakan hal kurang baik karena dapat menyebabkan *overheating* pada komponen. Mengangkat dari masalah tersebut, dilakukan penelitian mengenai desain *power supply* dengan menggunakan teknik *switching* atau yang sering disebut dengan istilah SMPS dengan menggunakan topologi *flyback*. Setelah dilakukan penelitian, dapat diketahui bahwa dengan kondisi tanpa beban daya minimum *power supply* adalah 16 VA dan memiliki efisiensi 77% pada beban maksimum 12 Volt 5 Ampere (60 VA) dengan tegangan masukan 220 Volt. Ini menunjukkan bahwa SMPS dengan menggunakan topologi *flyback* mampu memberikan efisiensi yang lebih baik dari pada *power supply* linier. Sedangkan, *power supply* ini memiliki tegangan keluaran 0-24 Volt, arus keluaran maksimum 5 Ampere untuk tegangan maksimum 12 Volt dan maksimum 2,5 Ampere untuk tegangan maksimum 24 Volt.

Kata kunci: *Power Supply*, SMPS, Efisiensi

1. Pendahuluan

Power supply merupakan suatu piranti elektronika yang berfungsi sebagai pemberi (*supply*) sumber daya (*power*) untuk piranti lain. Pada zaman dahulu, *power supply* memanfaatkan transformator konvensional/linier untuk mengambil sumber tegangan dari jala-jala AC kemudian menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi sama. Pada umumnya, apabila inti besi transformator dikelilingi arus listrik bolak-balik (AC), maka inti besi tersebut akan berubah menjadi magnet. Jika inti besi tersebut dililit oleh kawat maka akan timbul GGL. GGL yang terjadi pada inti besi dapat menimbulkan arus eddy (*eddy current*) dan semakin lama dapat menimbulkan panas atau yang lebih dikenal dengan istilah rugi-rugi daya [1] [2].

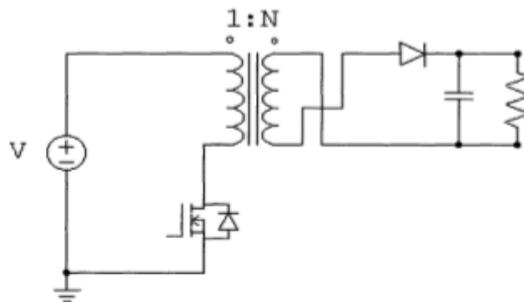
Untuk mengurangi rugi daya pada pengaturan tegangan *output power supply* linier dapat diatasi dengan mode *switching* atau *Switch Mode Power Supply* (SMPS). SMPS merupakan *power supply* yang dapat menjaga kestabilan tegangan dan arus listrik meskipun terjadi perubahan atau variasi pada beban atau sumber listrik (tegangan dan arus *input*) dan didesain memiliki efisiensi daya yang baik. Pada SMPS, daya yang dilimpahkan ke beban tidak terus-menerus melainkan dengan cara terpotong-

potong (periodik) menggunakan saklar daya (*switcher*) dan komponen penyimpan energi. Selain itu, keuntungan SMPS adalah mampu beroperasi pada frekuensi tinggi sehingga jumlah lilitan yang digunakan pada transformator menjadi lebih sedikit. Dengan adanya kemampuan tersebut, diharapkan dapat menekan rugi-rugi daya dan bentuknya cenderung menjadi lebih kecil dan ringan [3].

Kerugian dari cara *switching* adalah timbulnya gelombang frekuensi tinggi yang dapat mengganggu saluran atau jalur dalam sistem audio atau pengiriman data. Gangguan atau *noise* ini disebut *Radio Frequency Interference (RFI)*. Namun *power supply* ini didesain memiliki *EMI filter*. *EMI filter* berfungsi untuk meredam gelombang interferensi elektromagnetik. Sehingga *power supply* aman untuk digunakan [4] [5].

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kebanyakan sistem kontrol dimana kegunaan dari PWM adalah sebagai pengontrol daya pada rangkaian konverter, pada konverter PWM digunakan sebagai pegontrol saklar dan modulasi tegangan *input DC* menjadi gelombang dengan frekuensi tinggi untuk kemudian dilewatkan melalui komponen filter L-C untuk menghasilkan tegangan keluaran DC [6]. Teknik konverter ini dikenal sebagai teknik *switching mode power supply* yang banyak dimanfaatkan sebagai konversi daya DC-DC dibandingkan teknik konvensional karena tingkat efisiensi yang tinggi [7].

Dari sekian banyak jenis konverter, jenis konverter yang digunakan pada penelitian ini merupakan *flyback* konverter. Pada konverter ini, tegangan primer 220 VAC disearahkan langsung dengan penyearah gelombang penuh, kemudian dipotong-potong oleh MOSFET Q2 agar didapatkan tegangan dan arus beban yang diinginkan. Umpan balik dari jalur *output* ke rangkaian kendali terisolasi oleh TL431 (optoisolator). Rangkaian *snubber* dipasang paralel terhadap kumparan primer untuk pengaman MOSFET. Selain sebagai isolasi transformator juga dapat berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sekunder [5].



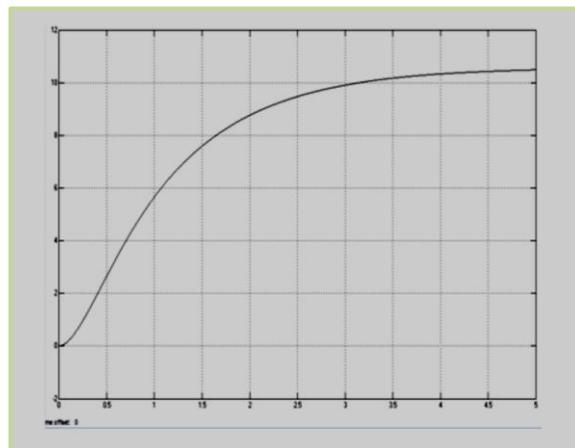
Gambar 1. Konverter *Flyback* (Sumber: Kurniawan & Sakti, 2014)

Nilai induktansi dari tiap-tiap bagian transformator berbanding lurus dengan ukuran induktornya,. Hal ini berguna dalam setiap perancangan konverter daya yang portable. Menurut N.A. Rahim dan Z. Islam (2009), untuk membangkitkan PWM dapat menggunakan dua teknik, yaitu teknik analog dan teknik digital. Dalam teknik analog, PWM dibangkitkan melalui sinyal pembawa dan sinyal modulasi yang dibandingkan kemudian dihasilkan deretan pulsa dengan *duty cycle* tertentu yang ditentukan oleh perbandingan antara sinyal pembawa dengan sinyal modulasi. Sedangkan dalam teknik digital, PWM dapat dibangkitkan dengan teknik *capture* dan *compare* nilai antara bit pencacah dengan jumlah bit yang diberikan sebagai pembanding akan menentukan *duty cycle* PWM pada mikrokontroler. Teknik digital mempunyai keunggulan dibandingkan dengan teknik analog seperti tingkat kepresisian, kualitas pulsa keluaran, serta kemudahan untuk diatur secara digital [8] [7].

Di beberapa penelitian sebelumnya mengenai *power supply*, dijelaskan bahwa efisiensi dari SMPS berkisar 60% - 80%, bahkan dapat mencapai >80% dalam beberapa kasus [9], dan disebutkan juga

bahwa dengan *power supply* linier memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan SMPS yaitu <60% [10].

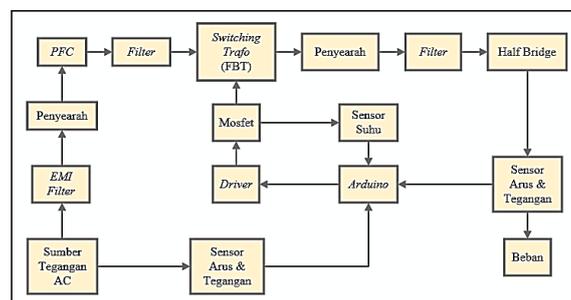
Menurut Das dan Thakura (2014), telah ditemukan salahsatu penelitian mengenai SMPS yang dibuat dengan menggunakan konverter jenis *flyback* dan diimplementasikan dengan menggunakan kekuatan MOSFET, dioda, penyearah jembatan, trafo, kontroler PI dapat digunakan di laboratorium elektronika daya untuk meningkatkan tegangan. Penelitian tersebut menyebutkan bahwa SMPS dengan menerapkan konverter *flyback* dapat memberikan tegangan *output* yang diinginkan tetap atau konstan [11].



Gambar 2. Gelombang Tegangan Keluaran SMPS Menggunakan *Flyback Converter* (Sumber: Das & Thakura, 2014)

Ketika tegangan output dari konverter masih jauh dari target output (set point), maka konverter akan menaikkan nilai output agar sesuai dengan target, caranya yaitu dengan menambah lebar pulsa. Ketika tegangan output mulai mendekati target maka lebar pulsa harus dikurangi secara perlahan.

2. Metode Penelitian



Gambar 3. Diagram Blok Elektronik

EMI *filter* meredam interferensi elektromagnetik (EMI) dari tegangan AC kemudian tegangan yang sudah di *filter* akan dirubah menjadi tegangan DC oleh penyearah gelombang penuh. Model penyearah gelombang penuh akan mengambil semua bagian dari siklus sinyal AC yang disearahkan sehingga keluaran dari penyearah gelombang penuh memiliki *ripple* yang kecil. Kemudian tegangan keluaran dari penyearah akan dinaikkan oleh PFC agar arus yang dihasilkan semakin kecil. Gelombang keluaran ini masih memiliki *ripple* sehingga gelombang keluaran disaring agar *ripple* semakin halus.

Proses *switching* dengan menggunakan frekuensi tinggi dilakukan pada kumparan primer dari trafo ferit, sedangkan kumparan sekunder disearahkan dan di *filter* ulang untuk mendapatkan tegangan DC. Proses *switching* MOSFET dipicu oleh PWM yang kendalikan oleh *arduino*. Tegangan *output* di *feedback* ke *arduino* dan di sensor besar arus dan tegangannya. Hal ini untuk mengatur regulasi tegangan. Suhu *heatsink* pada MOSFET disensor untuk mengatur pengaktifan kipas sehingga tidak terjadi panas berlebih.

Menghitung jumlah lilitan primer untuk trafo *ferrite* ETD49 diperlukan parameter seperti berikut:

$$\begin{aligned} V_{in} &= 400 \text{ VDC} \\ B_{max} &= 1300 \sim 2000 \\ A_e &= 211 \text{ mm}^2 = 2,11 \text{ cm}^2 \\ \text{Frequency} &= 30 \text{ kHz} \end{aligned}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} V_{in} &: \text{Tegangan AC input (V)} \\ B_{max} &: \text{Flux Density (gauss)} \\ A_e &: \text{Core area (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Sehingga, jumlah lilitan primer yang diperlukan adalah

$$\begin{aligned} N_p &= \frac{V_{in} \cdot 10^8}{4 \cdot \text{Frek.} \cdot B_d \cdot A_e} \\ N_p &= \frac{400 \cdot 10^8}{4 \cdot 30 \times 10^3 \cdot 1500 \cdot 2,11} \\ N_p &= 105,319 \text{ N} \end{aligned}$$

Dan tegangan *output* di setiap lilitan adalah

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_{in}}{N_p} \\ V_s &= \frac{400}{105,319} \\ V_s &= 3,8 \text{ V/lilit} \end{aligned}$$

Agar rangkaian *flyback* dapat bekerja secara regulasi, maka tegangan *output* harus didesain 150 % lebih tinggi, hal ini dilakukan untukantisipasi apabila terjadi penurunan tegangan saat diberi pembebanan penuh.

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{V_o}{V_s} \\ V_o &= 24 \text{ V} \times 1,5 \text{ (150 \% output nominal)} \\ V_o &= 36 \text{ V} \\ N_s &= \frac{36}{3,8} \\ N_s &= 9,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk menentukan jenis MOSFET yang akan digunakan maka dapat diketahui dari arus pada lilitan primer

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{P_o(\max)}{V_{in}} \\ I_p &= \frac{133,3}{400} \\ I_p &= 0,33 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai I_p , maka MOSFET yang digunakan harus memiliki spesifikasi arus minimal sebesar I_p .

Selanjutnya menentukan arus dan dioda pada lilitan sekunder

$$I_s = \frac{Po(\max)}{V_o}$$

$$I_s = \frac{133,3}{24}$$

$$I_s = 5,6 \text{ A}$$

Berdasarkan nilai I_s , maka dioda yang digunakan harus memiliki spesifikasi arus minimal sebesar I_s .

Selanjutnya menentukan kapasitor yang digunakan pada keluaran SMPS

$$C_o \geq \frac{Po(\max)}{2\pi \cdot f_{line} \cdot \Delta V_o \cdot V_o}$$

$$C_o \geq \frac{133,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 20 \cdot 400}$$

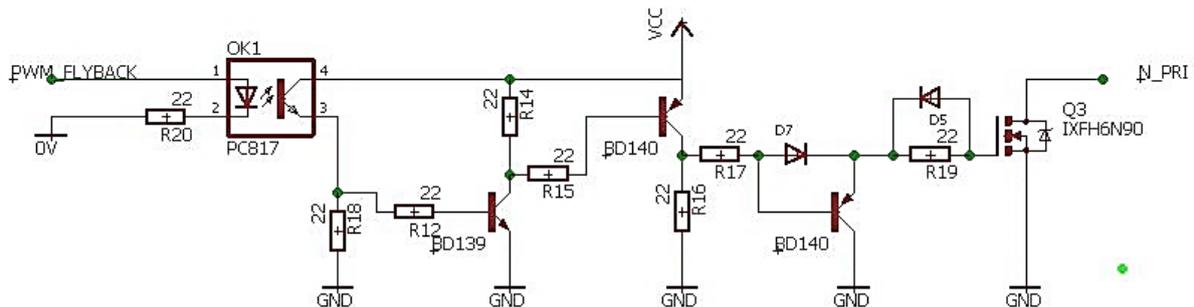
$$C_o \geq 106 \mu\text{F}$$

Berdasarkan nilai C_o , maka kapasitor yang digunakan harus memiliki spesifikasi koefisien minimal sebesar C_o . Namun, Jika toleransi kapasitor adalah 20 %, maka minimum nilai kapasitor yang digunakan adalah

$$C_{\min} \geq \frac{C_o}{1 - 20\%}$$

$$C_{\min} \geq \frac{120}{1 - 0,2}$$

$$C_{\min} \geq 150 \mu\text{F}$$



Gambar 4. Rangkaian *Driver Flyback*

Berdasarkan Gambar 4, untuk desain driver *flyback*, terdapat penggunaan transistor bertingkat, hal ini dikarenakan:

Transistor 1 : untuk memperbaiki gelombang keluaran *optocoupler*

Transistor 2 : memperbaiki transisi 0 (*low*) ke 1 (*high*)

Transistor 3 : memperbaiki transisi 1 (*high*) ke 0 (*low*)

Berdasarkan nilai I_p pada persamaan sebelumnya, maka digunakan MOSFET ($Q3$) dengan desain I_D 3x lebih besar daripada I_p . Selain itu, untuk penguat akhir transistor pada rangkaian *flyback*, maka dilakukan penentuan *Gate Charge* dan *Input Capacitance* MOSFET yang digunakan.

Untuk menentukan *driver* MOSFET dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

Arus *gate* rata-rata, adalah:

$$I_{G(\text{avg})} = Q_g \times F_{\text{PWM}}$$

Dimana,

Q_g : Total *gate charge*

F_{PWM} : Frekuensi *switching flyback* (31 kHz)

Untuk menentukan R_{gate} yang digunakan adalah:

$$R_{\text{gate}} = \frac{V_{GS}}{I_{G(\text{avg})}}$$

Dimana,

V_{GS} : Tegangan *gate* ke *source*

R_{gate} : Resistor pada *gate* MOSFET

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

3.1.1 Pengujian Driver PWM

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan *duty cycle* dari keluaran *driver* PWM. Caranya yaitu dengan menghubungkan *probe* osiloskop ke *output driver* PWM.

Tabel 1. Pengujian *Driver* PWM

PWM	<i>Duty Cycle</i> Input (%)	<i>Duty Cycle</i> Output (%)
0	0	0
5	2	7
10	3	9
15	5	13
20	7	16
25	9	19
30	11	22
35	13	25
40	15	29
45	17	32
50	19	38
55	22	44

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa terdapat perubahan *duty cycle* pada *output* yang dikarenakan respon *optocoupler* yang lambat.

3.1.2 Pengujian Flyback

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh PWM terhadap *output flyback*. Caranya yaitu dengan menghubungkan *probe multimeter* ke *output flyback* kemudian merubah nilai PWM atau merubah besarnya beban (R_L).

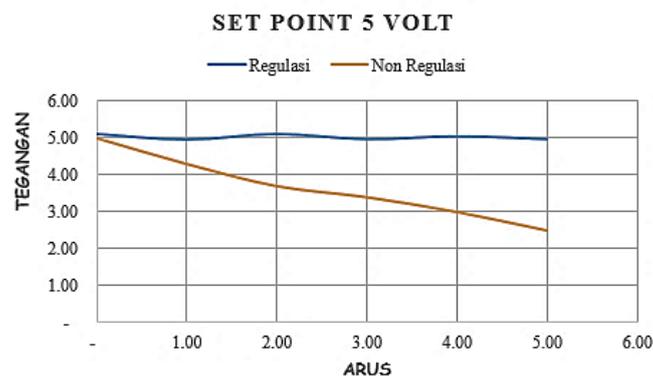
Tabel 2. Pengujian *Flyback* (PWM Berubah-Ubah dan R_L Tetap)

PWM	R_L (Ohm)	V_{out} (V)	I_{out} (A)
0	72	0	0
5	72	17,5	0,16
10	72	21,2	0,21
15	72	22,9	0,23
20	72	24,6	0,25
25	72	25,8	0,27
30	72	27,1	0,28
35	72	28,0	0,30
40	72	29,2	0,32
45	72	29,8	0,33
50	72	30,3	0,34
55	72	30,8	0,36

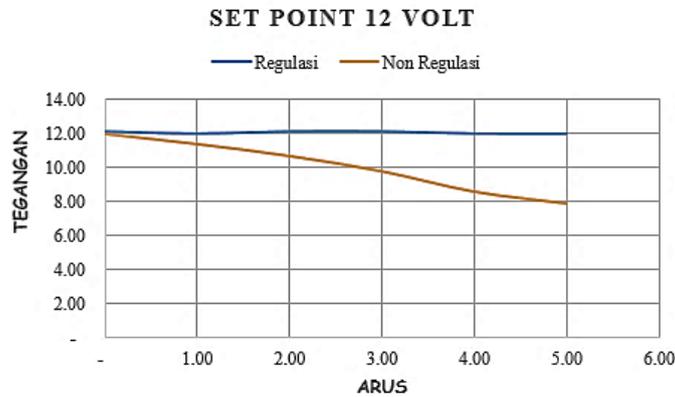
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa dengan penggunaan beban yang tetap, perubahan V_{out} dan I_{out} berbanding lurus dengan perubahan PWM.

3.1.3 Pengujian SMPS

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan dan tanpa penggunaan kontrol regulasi terhadap *output* SMPS. Caranya yaitu dengan menghubungkan beban secara paralel dengan *output* SMPS kemudian menghubungkan *probe multimeter* ke *output* SMPS.



Gambar 5. Grafik Tegangan Terhadap Arus pada SP 5V



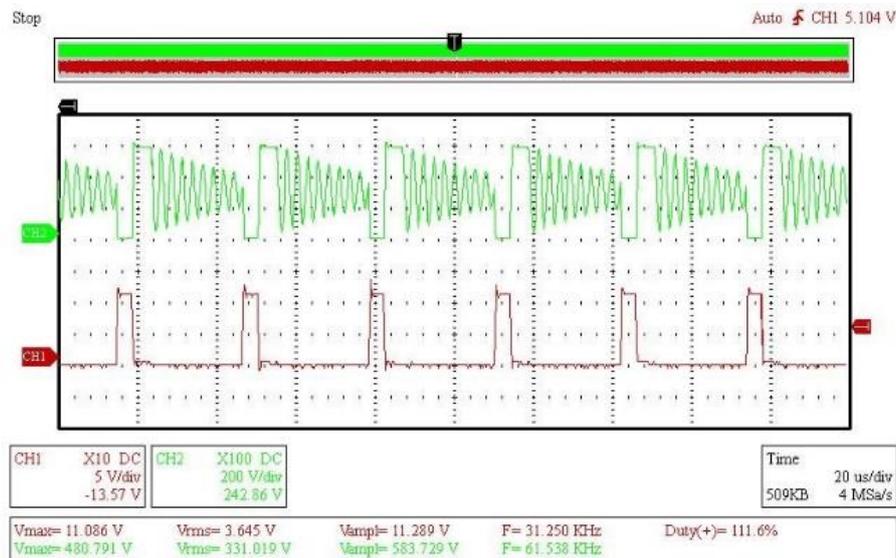
Gambar 6. Grafik Tegangan Terhadap Arus pada SP 12V

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dan Gambar 6, maka dapat diketahui bahwa dengan menggunakan kontrol regulasi, tegangan *output* tetap stabil meskipun arus berubah-ubah.

3.1.4 Pengujian Gelombang Transformator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang sebelum dan sesudah transformator. Caranya yaitu dengan Menghubungkan *probe* osiloskop pada *input* dan *output* transformator.

Pada Gambar 7, CH1 merupakan gelombang PWM dan CH2 merupakan gelombang lilitan primer. Sedangkan pada Gambar 8, CH1 merupakan gelombang lilitan sekunder 1 dan CH2 merupakan gelombang lilitan sekunder 2.



Gambar 7. Gelombang Sebelum Transformator

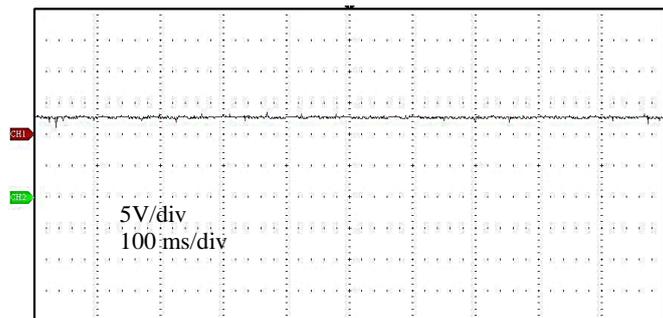


Gambar 8. Gelombang Setelah Transformator

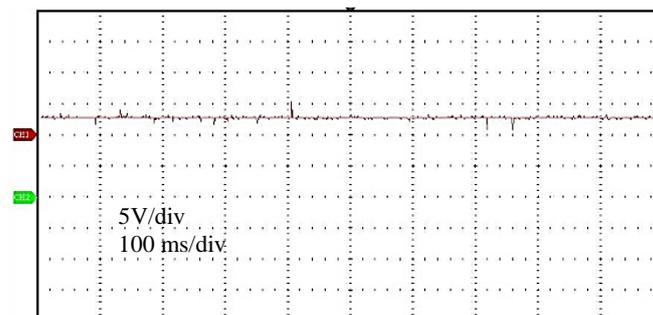
Berdasarkan gelombang pada Gambar 7 dan Gambar 8, dapat diketahui bahwa topologi *flyback* aktif. Hal ini ditunjukkan dengan adanya *ripple* pada gelombang lilitan primer sekunder.

3.1.5 Pengujian Gelombang Keluaran

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui *ripple* pada gelombang *output* SMPS. Caranya yaitu dengan menghubungkan beban secara paralel dengan *output* SMPS kemudian menghubungkan *probe* osiloskop ke *output* SMPS.



Gambar 9. Gelombang *Ripple Output* 12V (No Load)



Gambar 10. Gelombang *Ripple Output* 12V (Full Load)

Titik reverensi gelombang keluaran pada Gambar 9 dan Gambar 10 ditunjukkan oleh panah berwarna hijau dan dari kedua gambar tersebut dapat diketahui bahwa gelombang keluaran SMPS memiliki *ripple* yang sangat kecil meskipun diberi pambebanan.

3.1.6 Pengujian Efisiensi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi dari tanpa beban sampai beban penuh. Caranya yaitu dengan menghubungkan beban secara paralel dengan *output* SMPS kemudian menghubungkan *multimeter* secara paralel dengan *input* SMPS dan meng-*clamp* salah satu kabel AC yang terhubung *input* SMPS menggunakan *clamp meter*.

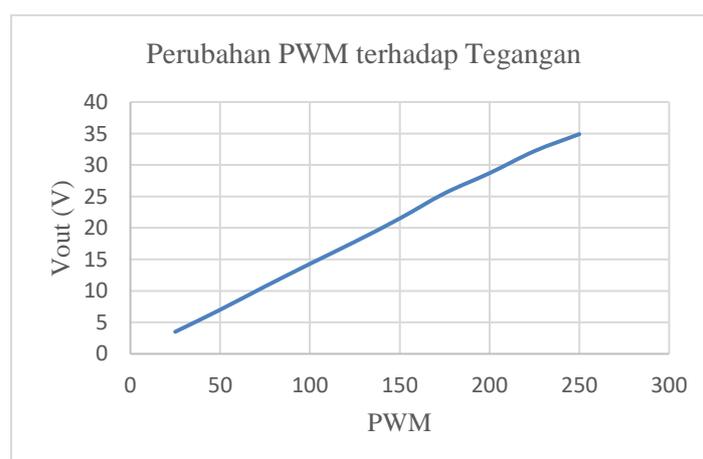
Tabel 3. Pengujian Efisiensi

P_{in} (VA)	P_{out} (VA)	Efisiensi (%)
16	0	0
21,8	2,9	13
25,8	6,1	23
30,5	9	29
35,2	12,1	34
42,5	15,1	35
47	24,8	52
77	59,7	77

Berdasarkan Tabel 3, efisisensi maksimum dicapai saat kondisi beban maksimum. Hal ini dapat dikarenakan sistem sendiri sudah memakan daya 16 VA pada kondisi tanpa beban.

3.2 Pembahasan

3.2.1 Pengaruh PWM terhadap Tegangan Keluaran



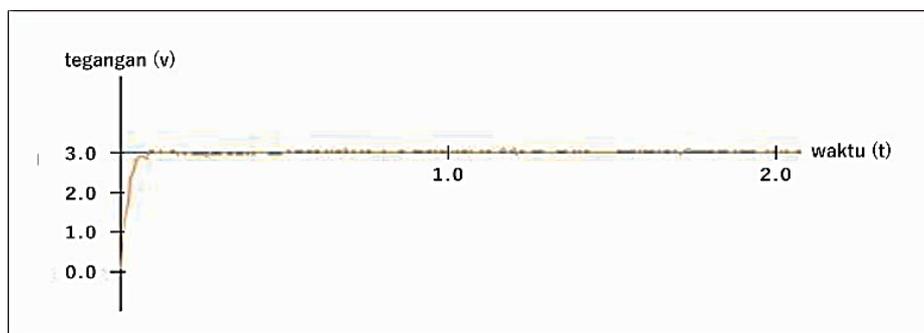
Gambar 11. Grafik Perubahan PWM terhadap Tegangan Keluaran

Dari grafik pada Gambar 11 dapat diketahui bahwa perubahan PWM mempengaruhi hasil tegangan keluaran dari SMPS, dimana semakin besar PWM maka semakin besar tegangan keluaran (sebanding lurus), ini disebabkan adanya selisih saklar (MOSFET) *ON* dan *OFF* yang disebut *duty cycle*, dimana

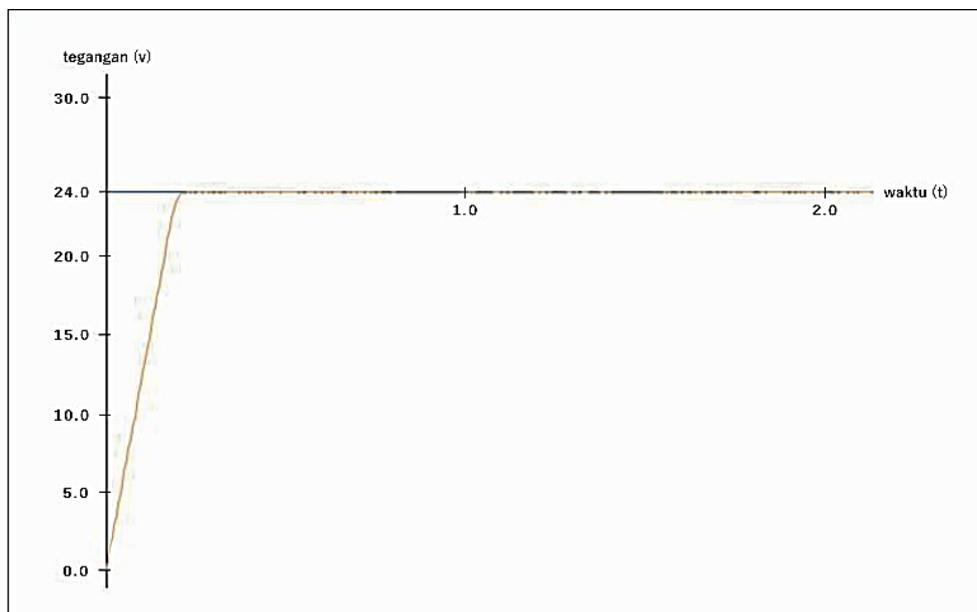
selisih ini akan mempengaruhi tegangan rata-rata dan arus rata-rata yang dihasilkan oleh rangkaian saklar.

3.2.2 Pengaruh Regulasi terhadap Kestabilan Sistem

Regulasi merupakan suatu metode yang mengatur agar keluaran tegangan yang dihasilkan setabil sesuai *set-point*, pada pembuatan ini menggunakan metode kontrol *close loop*, dimana kontrol ini akan mempertahankan tegangan keluaran dengan *set-point* seperti pada contoh respon tegangan keluaran pada gambar berikut:



Gambar 12. Respon Kestabilan atau *Steady State* Keluaran dengan *Set Point* 3V dalam *Sampling Time* 2 Detik.



Gambar 13. Respon Kestabilan atau *Steady State* Keluaran dengan *Set Point* 24V dalam *Sampling Time* 2 Detik.



Gambar 14. Respon Kestabilan atau Steady State Keluaran dengan Set Point 3V dengan Arus yang Semakin Naik dalam Sampling Time 2 Detik.

Hasil pengujian pada Gambar 12 dan Gambar 13 merupakan kestabilan yang dihasilkan oleh regulasi kontrol metode *fuzzy*, dimana kontrol ini akan menambah *duty cycle* apabila tegangan keluaran kurang dari *set point* dan akan mengurangi *duty cycle* apabila tegangan keluaran lebih dari *set point* dan akan mempertahankan *duty cycle* apabila sesuai dengan *set point*.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari percobaan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan topologi *flyback* masih belum mampu untuk menghasilkan *range* tegangan 0VDC s.d. 24VDC dikarenakan topologi *flyback* memiliki *range duty cycle* 0% s.d. 50% sehingga pada percobaan yang dihasilkan, topologi *flyback* hanya mampu menghasilkan tegangan keluaran mulai dari 15VDC s.d. 30VDC sehingga membutuhkan topologi SMPS lagi agar tegangan dapat diatur lebih detail seperti penggunaan *half-bridge* konverter yang mampu mengasilkan tegangan keluaran 0VDC s.d. 34VDC.

Selain itu, *Power supply adjustable* ini dapat memberikan arus keluaran 0A s.d. 5A dengan penggunaan tegangan maksimum 12VDC dan keluaran 0A s.d. 2,5A dengan penggunaan tegangan maksimum 24VDC. Hal ini dikarenakan adanya hukum ohm dimana semakin besar tegangan maka arus semakin kecil (daya tetap). *Power supply adjustable* ini memiliki daya masukan minimum 16 VA saat tanpa beban dan memiliki efisiensi 77% pada beban maksimum 12 Volt 5 Ampere (60 VA) dengan tegangan masukan 220 Volt. Hal ini dikarekan adanya rugi-rugi daya pada komponen yang digunakan.

4.2 Saran

Untuk bisa mendapatkan *range* tegangan yang tinggi, maka disarankan menggunakan topologi lain yang memiliki *duty cycle* lebar (100%).

Referensi

- [1] I. D. G. W. A. Bayuna, W. Sukerayasa dan W. G. Ariastina, "Studi Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya pada Penyulang Menjangan," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 16, p. 123, 09 2016.

- [2] Sulistiyono dan H. N. Azis, “Analisis Pengaruh Masa Operasional terhadap Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi Di PT PLN (PERSERO),” *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*, vol. 8, pp. 72-79, 2017.
- [3] Kharagpur, “DC to DC Converters: Version 2 EE IIT,” 22 07 2012. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/doc/100722745/L-19-SSG-PE-EE-NPTEL>.
- [4] G. Brezeanu dan L. Teodorescu, “High efficiency low noise linear power supply for high power measurement systems,” dalam *2014 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, Bucharest, Romania, 2014.
- [5] Fathoni, Buku Ajar Program Studi Teknik Elektronika, Malang: Politeknik Negeri Malang, 2013.
- [6] E. Koutroulis, A. Dollas dan K. Kalaitzakis, “High-frequency pulse width modulation implementation using FPGA and CPLD ICs,” *Journal of Systems Architecture*, vol. 52, pp. 332-344, 06 2006.
- [7] S. Kurniawan dan S. P. Sakti, “Desain High Frequency Pwm Menggunakan Cpld Dan Pemanfaatan Sistem Sebagai Kontrol Pada Dc-Dc Flyback Up Converter,” *Brawijaya Physics Student Journal*, vol. 2, no. 1, p. 159080, 06 02 2014.
- [8] N. A. Rahim dan Z. Islam, “Field Programmable Gate Array-Based Pulse-Width Modulation for Single Phase Active Power Filter,” *American Journal of Applied Sciences*, vol. 6, pp. 1742-1747, 09 2009.
- [9] N. Zlatanov, *DC Power Supplies, Applications and Measurements*, 2017.
- [10] M. Brown, *Power Supply Cookbook: The Role of the Power Supply within the System and Design Program*, 2nd penyunt., Elsevier-Newnes, 2001, p. 280.
- [11] M. Das dan D. P. Thakura, “Design of Switched Mode Power Supply,” *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, vol. 2, no. 8, pp. 141-148, 08 2014.