

PERANCANGAN CATU DAYA DC TERKONTROL UNTUK RANGKAIAN RESONANSI BERBASIS KUMPARAN TESLA

Heru Pujiyatmoko*), Mochammad Facta, and Agung Warsito

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, S.H., Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*)E-mail: pujiyatmoko_h@rocketmail.com

Abstrak

Dalam aplikasi sering kali ditemui beban yang menarik arus tinggi dalam tempo singkat. Arus tinggi ini dapat merusak setiap komponen dalam sistem yang dilaluinya. Oleh karena itu, diperlukan alat yang dapat membatasi arus yang ditarik oleh beban. Tugas akhir ini bertujuan merancang suatu catu daya DC yang dilengkapi dengan pembatas arus. Metode pembatas arus yang dipakai adalah pembatas arus konstan (constant current limiting). LM317 digunakan untuk mengatur arus basis yang memicu transistor-transistor untuk membatasi arus. LM317 ini juga mampu menghasilkan tegangan keluaran dalam rentang 0 Volt s/d 37 Volt. Rangkaian catu daya DC ini mampu mencatu beban hingga arus maksimum sebesar 9,85 Ampere. Pengujian dilakukan dengan membebani rangkaian catu daya DC dengan inverter dan rangkaian resonansi berbasis kumparan tesla. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa besarnya tegangan keluaran catu daya DC mempengaruhi besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan kumparan Tesla. Tegangan terbesar yang dihasilkan oleh kumparan tesla tersebut sebesar 4,20kV. Catu daya DC ini memiliki efisiensi rata-rata sebesar 82,82% yang terukur dari rangkaian blok regulator DC sampai blok pembatas arus.

Kata kunci: catu daya DC, pembatas arus, LM317, kumparan tesla

Abstract

In general application, it is often found that a load can draw high current in the short period of time such as in tesla coils construction. Based on the reason above, a tool which limits the current is required to overcome the excessive current. In this final assignment, a DC power supply design with current limiter is proposed. DC power supply is designed to limit the current up to 9,85A. Method of current limiter in this DC power supply is constant current limiting. The DC supply uses IC Regulator LM317 as regulator output voltage. DC power supply is also equipped with a current amplifier circuit so the DC power supply is capable to supply the load with a maximum current capacity up to 9,85A. The experimental result shows that magnitude of the output voltage DC power supply affects the magnitude of the output voltage tesla coil. The largest output voltage generated by Tesla coils was 4,20 kV. DC power supply can stand for 10 minutes during short circuit. The DC power supply has average efficiency 82,82% which measured from DC regulator to current limiter block.

Keywords: DC power supply, current limiter, LM317, Tesla coil

1. Pendahuluan

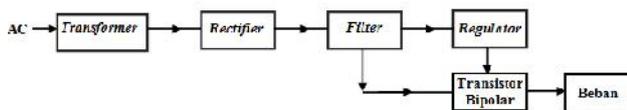
Rangkaian catu daya berfungsi untuk menyediakan arus dan tegangan tertentu sesuai dengan kebutuhan beban dari sumber daya listrik yang ada. Untuk mencukupi kebutuhan beban DC, diperlukan suatu rangkaian catu daya yang mengubah tegangan AC ke DC^[1]. Salah satunya adalah pembangkitan tegangan tinggi AC berbasis kumparan Tesla.

Pada pembangkitan tegangan tinggi AC dengan menggunakan kumparan Tesla ini dapat menimbulkan arus yang tinggi. Hal ini telah dilakukan penelitian

sebelumnya oleh Wildan Mujahid yang menyatakan bahwa batas aman kerja alat selama 15 menit karena arus yang cukup tinggi sehingga panas yang terjadi pada rangkaian peralatan juga tinggi, panas yang terjadi dikhawatirkan dapat merusak alat^[2]. Oleh karena itu, diperlukan catu daya DC yang dapat membatasi arus.

Berdasarkan teknik regulasi, terdapat dua jenis catu daya DC yaitu catu daya DC dengan regulasi pensaklaran (*switching*) dan catu daya DC dengan regulasi linier^[3]. Pada regulasi linier dalam mengubah tegangan AC menjadi DC dapat melalui beberapa tahap berikut ini. Pertama, tegangan AC disearahkan dengan menggunakan

penyearah (*rectifier*) untuk menghasilkan tegangan DC, kemudian ditapis (*filter*) untuk menghasilkan tegangan DC yang lebih halus dan akhirnya tegangan diatur agar menghasilkan tegangan keluaran DC yang diinginkan dengan menggunakan regulator tegangan^[4]. Kemudian tegangan keluaran DC ini disalurkan kepada beban. Jika menginginkan catu daya DC dengan kemampuan arus yang cukup besar dan dapat membatasi arus sesuai dengan yang diinginkan dapat ditambahkan elemen transistor bipolar pada catu daya DC tersebut^[5]. Berikut ini adalah blok diagram catu daya DC regulasi linier dengan penambahan elemen transistor.

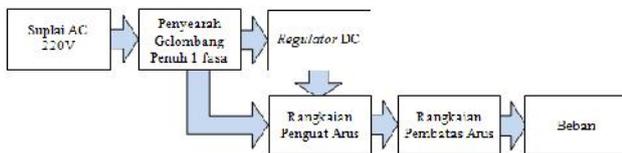


Gambar 1. Blok diagram catu daya DC regulasi linier dengan penambahan transistor bipolar

Pada tugas akhir ini dibuat suatu catu daya DC yang memiliki kemampuan untuk dapat menyuplai beban dengan kapasitas arus yang cukup besar. Selain itu juga, pada catu daya DC ini dilengkapi dengan pembatas arus sehinggaaaman terhadap resiko terjadinya hubung singkat. Oleh karena itu, catu daya DC ini dapat digunakan sebagai suplai pembangkitan tegangan tinggi dengan menggunakan kumparan Tesla (rangkain resonansi berbasis kumparan tesla) dan dengan adanya pembatas arus tersebut catu daya DC ini dapat menjadi proteksi bagi komponen - komponen didalamnya pada pembangkitan kumparan Tesla tersebut.

2. Metode

Perancangan catu daya DC ini tersusun dari beberapa blok utama yaitu sumber tegangan AC, penyearah gelombang penuh satu fasa, *regulator* DC, rangkaian penguat arus, dan rangkaian pembatas arus. Gambar 2. adalah diagram blok perancangan perangkat keras:



Gambar 2. Blok diagram perancangan alat

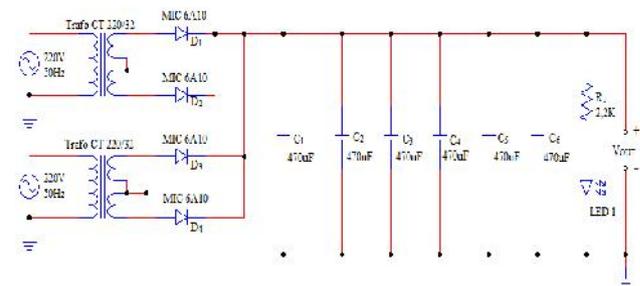
2.1 Suplai AC 1 Fasa

Sumber tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 1 fasa yang berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan 220VAC dan frekuensi 50 Hz. Tegangan ini kemudian diturunkan menjadi 32 VAC dengan trafo penurun tegangan. Tegangan 32VAC ini digunakan sebagai

masukannya rangkaian *regulator* DC setelah disearahkan dengan rangkaian penyearah.

2.2 Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa

Penyearah berfungsi untuk mengubah tegangan dan arus bolak balik (AC) menjadi tegangan dan arus searah (DC)^[6]. Didalam tugas akhir ini digunakan jenis penyearah gelombang penuh dengan center tap. Penyearah ini digunakan sebagai tegangan masukan *regulator* DC dan tegangan V_{CC} pada rangkaian penguat arus.



Gambar 3. Rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa dengan center tap

Rangkaian penyearah ini terdiri dari dua penyearah gelombang penuh 1 fasa dengan center tap yang dihubungkan secara paralel. Tegangan masukan pada kedua penyearah ini berasal dari dua buah trafo yang berbeda yang masing-masing disuplai oleh satu trafo dengan tegangan masukan yang sama yang berasal dari keluaran trafo sebesar 32V_{AC}. Kedua penyearah tersebut disearahkan dengan menggunakan dua buah dioda MIC6A10 pada masing-masing penyearah tersebut dan kemudian ditapis dengan kapasitor sehingga tegangan menjadi 45,25V_{dc}. Fungsi pemasangan tapis kapasitor adalah untuk menghilangkan riak (*ripple*) sehingga menjadi gelombang DC murni^[7].

2.3 Regulator DC

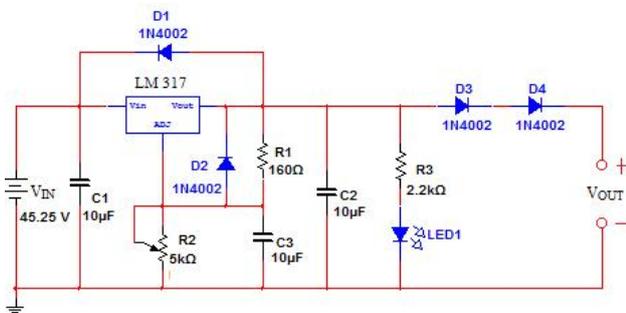
Tegangan masukan pada *regulator* DC didapat dari tegangan keluaran pada rangkaian penyearah gelombang penuh 1 fasa sebesar 45,25V_{dc}. *Regulator* DC ini menggunakan komponen IC *regulator* (IC LM317) sebagai komponen utamanya yang berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran DC.

Rangkaian *regulator* DC pada Gambar 4. didapatkan dari anjuran datasheet LM317. Pada kaki adjust LM317 dihubungkan seri dengan potensiometer (R_2) yang digunakan sebagai pembagi tegangan sehingga tegangan keluaran pada *regulator* DC ini dapat diatur dengan memutar R_2 . Dengan mengatur nilai R_1 dan R_2 pada rangkaian diatas maka dapat menentukan tegangan keluaran dari rangkaian *regulator* DC ini yang dapat dihitung melalui Persamaan berikut^[8].

$$V_{OUT} = 1,25 \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right]$$

Untuk mendapatkan tegangan keluaran maksimal sebesar 37V_{dc} maka digunakan R₁ sebesar 160 dan R₂ sebesar 5K .

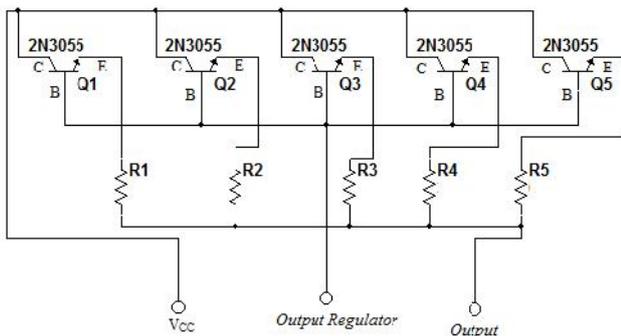
Pada rangkaian Gambar 4. juga dipasang rangkaian LED yang terhubung secara paralel dengan tegangan keluaran regulator DC. LED ini digunakan sebagai indikator nyala atau tidaknya rangkaian tersebut. Selain itu, pada rangkaian ini juga ditambahkan dua buah dioda yang dipasang secara seri dengan rangkaian regulator DC yaitu D₃ dan D₄. Kedua dioda tersebut digunakan untuk menurunkan tegangan referensi menjadi 0V.



Gambar 4. Rangkaian regulator DC

2.4 Rangkaian Penguat Arus

Rangkaian penguat arus digunakan untuk menambah kapasitas kemampuan arus pada catu daya DC ini. Catu daya DC yang telah dilengkapi dengan rangkaian penguat arus mampu menyuplai beban yang membutuhkan arus yang cukup besar, salah satunya adalah pembangkit tegangan tinggi kumparan Tesla.



Gambar 5. Rangkaian penguat arus

Gambar 5. adalah rangkaian penguat arus yang tersusun dari transistor dan resistor. Transistor inilah komponen utama yang digunakan sebagai penguat arus yang dihubungkan secara paralel. Yang perlu diperhatikan dalam pemilihan transistor adalah disipasi daya, tegangan kerja dan arus kerja. Tegangan masukan regulator DC sebesar

45,25V_{dc} dan arus maksimal 9,5A. Maka transistor yang digunakan adalah 2N3055. Berikut adalah spesifikasi dari transistor 2N3055[9]:

- Collector – Emitter Voltage (V_{CE}) : 60Vdc
- Emitter – Base Voltage (V_{EB}) : 7Vdc
- Collector Current – Continuous (I_C) : 15 A
- Base Current (I_B) : 7 A
- Total Power Dissipation (P_D) : 115 Watt

Dengan adanya penguat arus dalam catu daya DC ini, arus yang mengalir pada rangkaian regulator DC menjadi lebih kecil karena sebagian arus yang mengalir dialirkan melalui transistor. Dengan adanya pemasangan resistor pada kaki emitor transistor, maka arus yang mengalir pada tiap-tiap transistor memiliki nilai yang sama^[5].

2.5 Rangkaian Pembatas Arus

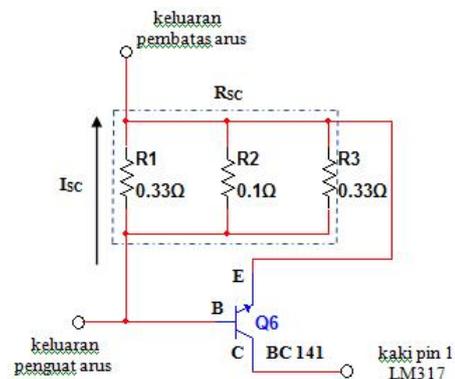
Dalam perancangan catu daya DC ini diperlukan adanya pembatas arus untuk mencegah terjadinya arus tinggi dalam sistem yang diakibatkan oleh beban. Arus tinggi ini dapat merusak setiap komponen dalam sistem sehingga dengan adanya pembatas arus ini, setiap komponen dalam sistem dapat terlindungi. Selain itu juga, pembatas arus dapat digunakan untuk membatasi besarnya arus keluaran maksimum catu daya DC yang diinginkan.

Untuk menentukan besarnya arus maksimum yang dibatasi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan berikut^[5].

$$I_{SC} = \frac{V_{BEon}(Q_6)}{R_{SC}}$$

dimana I_{SC} adalah besarnya arus maksimum yang ingin dibatasi sedangkan V_{BEon}(Q₆) adalah tegangan basis-emitor transistor saat aktif sebesar 0,6V dan R_{SC} adalah hambatan berupa resistor.

Perancangan rangkaian pembatas arus didesain agar mampu membatasi besarnya arus keluaran maksimum catu daya DC sebesar 9,5A. Sesuai persamaan diatas maka digunakan hambatan (R_{SC}) sebesar 0,063 .



Gambar 6. Rangkaian pembatas arus

Pada Gambar 6. dapat dijelaskan prinsip kerja dari rangkaian tersebut sebagai berikut. Ketika arus yang melewati R_{SC} (I_{SC}) meningkat maka tegangan jatuh pada R_{SC} juga akan meningkat. Ketika arus bertambah (I_{SC}) sampai dengan nilai maksimum yang telah ditentukan (9,5A), maka tegangan jatuh pada R_{SC} akan sama dengan tegangan Basis-Emitor transistor Q_6 ($V_{BE} Q_6$), akibatnya transistor pada pembatas arus (Q_6) menghantar. Hal ini membuat arus pada kaki pin 1 LM317 dialihkan ke Kolektor pada Q_6 , akibatnya arus basis pada transistor penguat arus berkurang dengan demikian arus keluaran (I_O) dibatasi pada nilai maksimumnya^[5].

3. Hasil dan Analisa

Pada bagian ini, dilakukan pengujian dari catu daya DC yang telah dirancang. Pengujian ini meliputi pengujian efisiensi catu daya DC, pengujian regulasi beban, pengujian tegangan riak, pengujian arus keluaran catu daya DC pada saat hubung singkat serta pengujian tegangan dan arus keluaran catu daya DC sebagai suplai *inverter* yang terhubung dengan rangkaian resonansi berbasis kumparan tesla .

3.1 Pengujian Efisiensi Catu Daya DC

Efisiensi (η) adalah perbandingan antara daya keluaran (P_{OUT}) dengan daya masukan (P_{IN}) yang dinyatakan dalam persentase oleh persamaan berikut^[1]:

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{V_{OUT} \cdot I_{OUT}}{(V_{OUT} \cdot I_{OUT}) + P_D}$$

Pada tahapan regulator linier besarnya disipasi sangat tergantung dengan perbedaan V_{IN} dan V_{OUT} serta arus keluaran (I_O)^[1]:

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) \cdot I_O$$

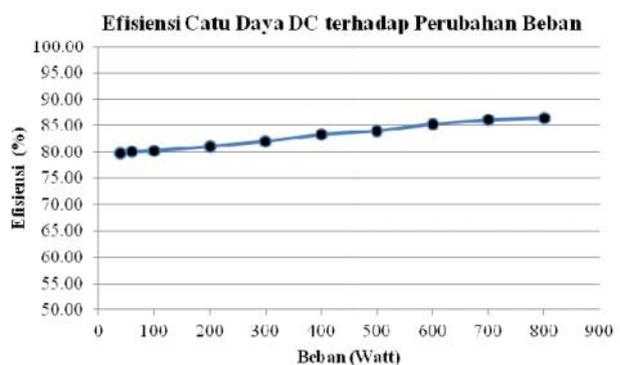
Pengukuran efisiensi catu daya DC ini adalah pada blok rangkaian *regulator* DC sampai blok pembatas arus. Dengan menggunakan Persamaan 3 dan 4 maka akan didapatkan efisiensi catu daya DC di berbagai jenis beban. Tabel 1. adalah data pengukuran untuk mendapatkan efisiensi dari catu daya DC dengan tegangan masukan yang disuplai oleh trafo penurun tegangan sebesar $32V_{AC}$.

Tabel 1. Data pengujian efisiensi catu daya DC

Beban	P_{IN} (W)	P_{OUT} (W)	Efisiensi (%)
Lampu 40W	3,56	2,84	79,71%
Lampu 60W	5,30	4,25	80,11%
Lampu 100W	7,92	6,36	80,25%
Lampu 200W	14,76	11,95	81,01%

Lampu 300W	23,11	18,94	81,94%
Lampu 400W	29,33	24,43	83,29%
Lampu 500W	36,02	30,28	84,06%
Lampu 600W	42,33	36,08	85,23%
Lampu 700W	48,12	41,46	86,16%
Lampu 800W	51,07	44,16	86,47%

Efisiensi tertinggi yang ada pada catu daya DC ini terletak pada beban lampu 800 Watt sebesar 86,47%. Sementara efisiensi terendah sebesar 79,71% pada beban lampu 40 Watt. Dengan demikian, efisiensi rata-rata catu daya DC dari Tabel 1. sebesar 82,82%.



Gambar 7. Grafik efisiensi catu daya DC terhadap perubahan beban

Dari Gambar 7. terlihat bahwa rata-rata efisiensi catu daya DC memiliki nilai efisiensi diatas 80%. Efisiensi cenderung naik seiring naiknya beban. Hal itu disebabkan karena arus yang cenderung naik seiring dengan bertambahnya beban.

3.2 Regulasi Beban

Regulasi beban adalah parameter yang menunjukkan seberapa besar perubahan tegangan pada beban bila terjadi perubahan arus^[10]. Dalam pengujian ini diberikan beban berupa lampu pijar dengan berbagai variasi daya. Data pengujian regulasi beban dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data pengujian regulasi beban catu daya DC

Beban	V_{out} (V)	I_{out} (A)
Beban Nol	36,50	0,00
Lampu 40W	35,47	0,08
Lampu 60W	35,41	0,12
Lampu 100W	35,31	0,18
Lampu 200W	35,16	0,34
Lampu 300W	35,07	0,54
Lampu 400W	34,90	0,70

Lampu 500W	34,80	0,87
Lampu 600W	34,69	1,04
Lampu 700W	34,55	1,20
Lampu 800W	34,50	1,28

Regulasi beban pada catu daya DC dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan berikut^[10].

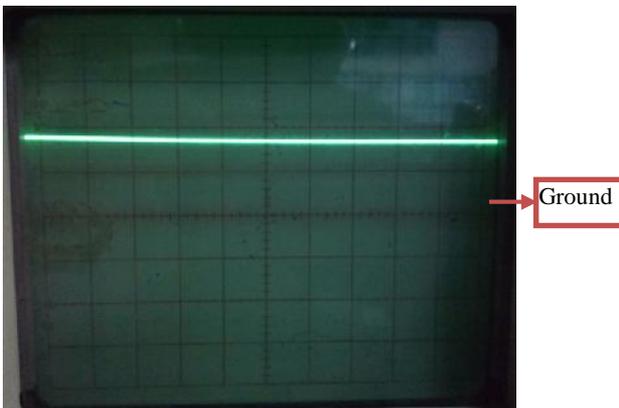
$$\text{Regulasi Beban} = \frac{V_{(\text{tanpa beban})} - V_{(\text{Beban maks})}}{V_{(\text{Beban maks})}} \cdot 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Regulasi Beban} &= \frac{36,5 - 34,5}{34,5} \cdot 100\% \\ &= 5,80\% \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian dengan variasi beban dari tanpa beban sampai dengan beban lampu 800 Watt, maka regulasi beban pada catu daya DC ini sebesar 5,80%.

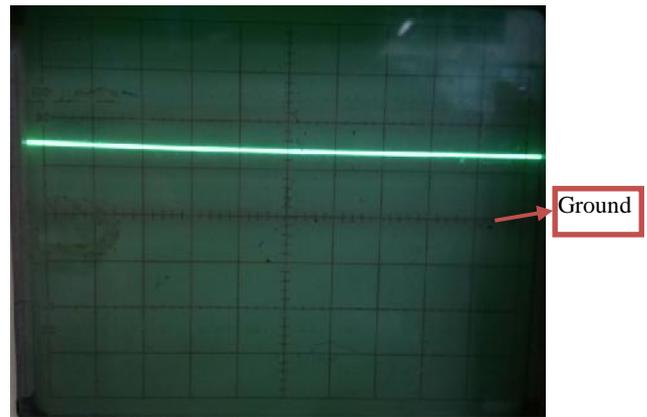
3.3 Tegangan Riak Keluaran

Pengujian tegangan riak keluaran ini bertujuan untuk melihat bentuk gelombang tegangan keluaran dari suplai DC dengan berbagai variasi beban. Tegangan riak keluaran dalam pengujian ini dilakukan ketika suplai DC diberi beban lampu 800 watt, beban *inverter* dan kumparan Tesla serta pada saat suplai DC tanpa beban.



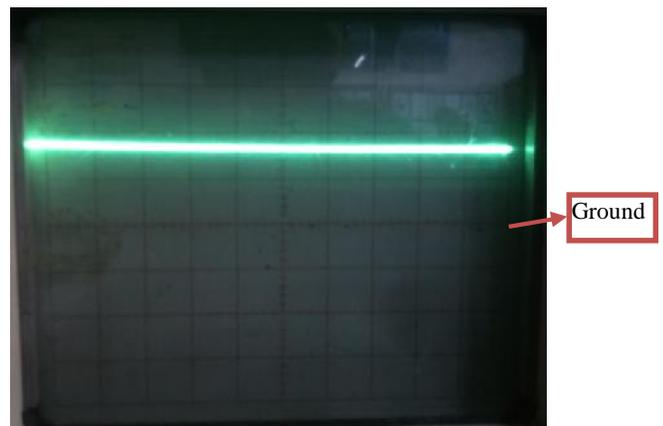
Gambar 8. Gelombang keluaran catu daya DC tanpa beban

Dari Gambar 8. dapat dinyatakan bahwa bentuk gelombang tegangan keluaran pada catu daya DC ini saat beban nol memiliki bentuk gelombang yang lurus (tidak terdapat riak). Hal ini berarti tegangan keluaran tersebut memiliki bentuk gelombang DC murni.



Gambar 9. Bentuk gelombang keluaran catu daya DC dengan beban lampu 800 Watt

Dari Gambar 9. dapat dinyatakan bahwa bentuk gelombang tegangan keluaran pada catu daya DC ini dengan beban lampu 800 Watt memiliki bentuk gelombang yang lurus (tidak terdapat riak). Hal ini berarti tegangan keluaran tersebut memiliki bentuk gelombang DC murni.



Gambar 10. Bentuk gelombang keluaran catu daya DC dengan beban *inverter* yang terhubung dengan rangkaian resonansi berbasis kumparan Tesla

Dari Gambar 10. dapat dinyatakan bahwa bentuk gelombang tegangan keluaran pada catu daya DC dengan beban *inverter* yang terhubung dengan rangkaian resonansi berbasis kumparan Tesla memiliki bentuk gelombang DC murni.

3.4 Pengujian Catu Daya DC dalam Kondisi Hubung Singkat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan catu daya DC bila terjadi hubung singkat. Selain itu, dalam pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui suhu transistor pada rangkaian penguat arus saat catu daya DC mengeluarkan arus yang cukup besar. Dengan kondisi

seperti ini, maka dapat diketahui kerja atau tidaknya rangkaian pembatas arus pada catu daya DC tersebut.

Tabel 3. Data pengujian catu daya DC saat hubung singkat

Waktu (Menit)	Suhu Transistor (°C)	I_{out} (A)
1	30	9,58
2	30	10,02
3	31	9,97
4	31	9,90
5	31	9,88
6	31	9,86
7	31	9,83
8	31	9,83
9	31	9,82
10	31	9,80

Dari Tabel 3. terlihat bahwa arus keluaran pada catu daya DC saat hubung singkat cenderung stabil. Dari data tersebut, dapat dilukiskan hubungan lamanya waktu saat hubung singkat dengan suhu transistor pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Suhu transistor terhadap waktu

Dari Gambar 11. terlihat bahwa suhu transistor penguat arus pada catu daya DC ini memiliki suhu yang stabil seiring dengan bertambahnya waktu. Dalam kondisi hubung singkat ini, arus keluaran catu daya DC mencapai nilai maksimalnya sehingga arus transistor penguat arus juga mencapai nilai maksimalnya.

Dalam pengujian hubung singkat ini, suhu transistor cukup stabil. Hal ini terjadi karena pada transistor ini telah diberi pendingin (*heatsink* dan kipas) dan tidak melewati disipasi daya maksimum transistor. Transistor yang telah dipasang *heatsink* memiliki tingkat daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan transistor yang tidak dipasang *heatsink*. *Heatsink* ini berfungsi untuk memindahkan panas dengan cepat dari transistor ke badan *heatsink* ^[11].

3.5 Pengujian Catu Daya DC sebagai Suplai Inverter yang terhubung dengan Rangkaian Resonansi Berbasis Kumputan Tesla

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan dan arus keluaran catu daya DC yang digunakan sebagai suplai suplai *inverter* yang terhubung dengan rangkaian resonansi berbasis kumputan tesla. Dengan pengujian ini dapat diketahui pula perubahan tegangan yang dihasilkan oleh kumputan tesla yang diakibatkan oleh adanya perubahan tegangan catu daya DC.

Tabel 4. Data pengujian catu daya DC sebagai suplai inverter yang terhubung dengan rangkaian resonansi berbasis kumputan tesla

V_i (Volt)	A_i (Ampere)	Frekuensi Resonan (KHz)	V_{pp} (kV)
3	0,09	114	0,34
8	0,22	114	0,90
13	0,33	114	1,44
18	0,47	114	2,06
23	0,61	114	2,70
27	0,70	114	3,12
30	0,81	114	3,60
37	0,95	114	4,20

V_i adalah tegangan keluaran catu daya DC yang terukur dalam pengujian, sementara A_i adalah arus keluaran catu daya DC yang terukur dalam pengujian serta V_{pp} adalah tegangan puncak ke puncak terukur yang dihasilkan oleh rangkaian resonansi berbasis kumputan tesla.

Dari Tabel 4. terlihat bahwa nilai tegangan terbesar yang dihasilkan oleh kumputan Tesla (V_{pp}) sebesar 4,20kV ketika tegangan keluaran catu daya DC (V_i) sebesar 37V_{dc}. Sementara nilai tegangan terkecil yang dihasilkan oleh kumputan Tesla (V_{pp}) adalah sebesar 0,34kV ketika tegangan keluaran catu daya DC (V_i) sebesar 3V_{dc}.



Gambar 12. Grafik tegangan keluaran kumputan Tesla (V_{pp}) terhadap perubahan tegangan keluaran catu daya DC (V_i)

Dari Gambar 4.12, terlihat bahwa grafik cenderung naik secara linier. Besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh kumparan tesla (V_{pp}) dipengaruhi oleh perubahan tegangan keluaran catu daya DC (V_i). Semakin besar nilai tegangan keluaran catu daya DC (V_i) maka semakin besar pula tegangan keluaran yang dihasilkan oleh kumparan Tesla (V_{pp}). Dengan demikian, tegangan keluaran yang dihasilkan oleh kumparan tesla (V_{pp}) dapat diatur dengan menggunakan catu daya DC.

4. Kesimpulan

Catu daya DC yang dirancang mampu menghasilkan tegangan keluaran 0 Volt sampai 37 Volt dengan kapasitas arus maksimum sebesar 9,85A. Catu daya DC ini diuji dengan menggunakan rangkaian resonansi berbasis kumparan tesla. Dalam pengujian, tegangan tertinggi yang mampu dihasilkan oleh kumparan tesla dengan menggunakan catu daya DC ini sebesar 4,20kV.

Berdasarkan hasil pengujian, efisiensi rata – rata catu daya DC sebesar 82,82% yang diukur dari blok rangkaian *regulator* DC sampai blok pembatas arus. Catu daya DC ini juga dilengkapi dengan *short circuit protection* dan berdasarkan hasil pengujian, catu daya DC ini aman terhadap kondisi hubung singkat selama 10 menit.

Referensi

- [1]. Istataqomawan, Zuli Tugas Akhir: Catu Daya Tegangan DC Variabel dengan Dua Tahap Regulasi (*Switching* dan Linier), Universitas Diponegoro, 2002.
- [2]. Mujahid, Wildan Tugas Akhir: Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi AC Frekuensi Tinggi dengan Kumparan Tesla menggunakan Inverter Jenis *Push-Pull*, Universitas Diponegoro, 2010.
- [3]. Rifaldi dkk, “*Perancangan Catu Daya Berbasis Up-Down Binary Counter Dengan 32 Keluaran*”, E-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 2013.
- [4]. Rashid .M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [5]. SemiconductorTM, ON. *Linear & Switching Voltage Regulator Handbook, HB206/D, Rev.4*, <http://onsemi.com>, 2002.
- [6]. Surjono, Herman Dwi. Ph.D. *Elektronika Lanjut*. Jember: Penerbit Cerdas Ulet Kreatif, 2009.
- [7]. Logitra, Irpan Tugas Akhir: Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Mengurangi Jumlah Bakteri pada Cairan Susu Perah, Universitas Diponegoro, 2013.
- [8]. -----, *Datasheet LM317*. Diakses dari www.alldatasheet.com pada tanggal 22 November 2013, Jam 20.48 WIB.
- [9]. -----, *Datasheet 2N3055*. Diakses dari www.alldatasheet.com pada tanggal 28 November 2013, Jam 10.18 WIB.
- [10]. Trianta, Antonius Hendra Tugas Akhir: Pembuatan Adjustable Laboratory Power Supply 0 – 35 Vdc dengan Arus 5 Ampere, Universitas Kristen Petra, 2005.
- [11]. Malvino, Albert Paul. *Prinsip - Prinsip Elektronika*. Terjemahan oleh Alb. Joko Santoso. Jakarta: Salemba Teknika, 2003.