



Original Article

Analysis of Transformer Using Flyback Converter Circuit

Received 23th May 2023
Accepted 25th May 2023
Published 26th May 2023

Open Access

Ahmad Syarip Hidayatulloh 1^a, Rizki Idul Fitriansyah 2^a, Sandi Apriliyanto 3^a, Bayu 4^a, Ahmad Tubagus Zatin 5^a, Achmad Choirul Anwar 6^a, Andre Ramadhan 7^a, Alvin Mei Arisandi 8^a, Adi Mulyadi^b

^a Student of Departement Electrical Engineering, PGRI Banyuwangi University.

^b Lecturer of Departement Electrical Engineering, PGRI Banyuwangi University.

* Corresponding E-mail: ahmadsyarifh08@gmail.com 1, mamanmemel62@gmail.com 2, SandiApriliyanto1@gmail.com 3, bayuputra040602@gmail.com 4, zatinbaqus@gmail.com 5, choic803@gmail.com 6, mr.andre.qaminga@gmail.com 7, alvinmeiarisandi9999@gmail.com 8, adimulyadi@unibabwi.ac.id 9*

Abstract: This paper discusses two types of transformers 3 A and 5 A with the addition of a flyback converter circuit. The transformer 3 A is only able to lower the DC output voltage and cannot produce an AC output voltage. So that the addition of a flyback converter circuit is proposed to change the AC output voltage and increase the voltage based on the desired load. The results of the 3 A transformer test obtained an increased output voltage from 12.21 Vdc to 18.04 Vdc with a constant time period of 1 minute. While testing the 5 A transformer shows that the increase in output voltage is obtained by adding a flyback converter circuit. The result of the output voltage with the addition of a flyback converter circuit reaches 221 Vac to 252.2 Vac. The increase in output voltage is directly proportional to a constant time period of one minute.

Keywords: Transformer 1, Converter Flyback 2, Voltage Output 3, Time Constant 4

Pendahuluan

Transformer digunakan untuk menyalurkan energi listrik berdasarkan prinsip induksi medan magnet. Induksi medan magnet yang dihasilkan oleh tegangan *input* AC menyebabkan fluks magnet yang terhubung pada lilitan skunder transformer [1]. Tegangan *input* AC mengakibatkan 8-10 kali arus nominal lebih besar [2]. Sehingga membutuhkan peralatan yang dapat membatasi arus pada beban. Peralatan yang dapat membatasi arus salah satunya adalah transformer. Transformer mengkonversi energi listrik dari tingkat tegangan satu ke tingkat tegangan yang lain [3].

Tingkat tegangan dalam saluran transmisi seperti tegangan tinggi, saluran ekstra tinggi [4]. Indonesia memiliki saluran transmisi dengan tegangan di atas 20 kV dan saluran distribusi di bawah 20 kV. Sedangkan Jepang memiliki tegangan saluran transmisi 7 kV ke atas dan saluran distribusi 7 kV ke bawah. Amerika Serikat mempunyai tiga jenis saluran 13 kV sampai 138 kV dengan saluran transmisi 34.50 kV ke atas [5]. Tegangan yang disalurkan dari pembangkit menuju transmisi dan distribusi melalui gardu induk (GI) dibedakan berdasarkan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT),

Saluran Udara Tegangan Ekstra (SUTET) 30 kV, 70-150 kV (SUTT) [6]-[7] dan 500 kV (SUTET). Jaringan 150 kV sebagai penyalur daya dari GI satu ke GI lain sebelum penurunan tegangan (*voltage drop*) [8].

Voltage drop generator sebesar 6.6 kV sampai 24 kV. Menaikkan tegangan digunakan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan mengimbangi jarak pada saluran transmisi [9]. Rugi-rugi daya aktif pada saluran transmisi tegangan 150 kV sebesar 2.64 % (Sesco 170 MW), rugi-rugi daya total 3.57 % (Sesco 200 MW), dan rugi-rugi daya berdasarkan standar SPLN No.72 Tahun 1987 sebesar 5 % [10]. Selain saluran transmisi, saluran distribusi dibedakan menjadi dua yaitu jaringan distribusi primer dan sekunder. Jaringan distribusi primer terletak diantara sisi sekunder transformer GI hingga sisi primer transformer distribusi [11].

Saluran distribusi memiliki tegangan menengah sebesar 6-20 kV. Sedangkan jaringan distribusi sekunder terletak pada posisi sekunder transformer dengan tegangan *output* sebesar 380 dan 220 volt [12]. Tegangan *output* transformer yang disalurkan ke jaringan transmisi Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) menyesuaikan kebutuhan beban. Hal ini membutuhkan penurunan tegangan *output* dari 20 kV menjadi 380 atau 220 volt.

Beberapa metode tentang penurunan tegangan dan efisiensi diusulkan dengan menggunakan rangkaian konverter arus searah, rangkaian kontrol PWM dan *soft switching Zero Voltage Switching (ZVS)*. Hasil menunjukkan bahwa ZVS dapat mengurangi rugi-rugi pensaklaran dan meningkatkan efisiensi 94.83 % pada catu daya motor sebesar 103.77 watt pada resistansi resistor 500 Ω [13].

Konverter *flyback* DC-DC diterapkan pada transformer *step up* dengan ZVS dan MOSFET IRFP460. Hasil eksperimen dilakukan berdasarkan variasi *duty cycle* tegangan *output* sebesar 11.20 kV (*duty cycle* 60%), dan eksperimen menggunakan variasi frekuensi *switching* menghasilkan tegangan *output* 10.80 kV pada frekuensi 23 KHz [14]. Penurunan tegangan menggunakan TRIAC BTA-41600B, kemudian *output* tegangan disearahkan dengan penyearah gelombang dioda *bridge* MB3510W, kapasitor 330 μ F dan 470 μ F. penyearah gelombang difungsikan sebagai *filter* untuk mengurangi *ripple* pada tegangan *output*. Hasil pengujian diperoleh tegangan dengan perhitungan sebesar 7.08 kV, frekuensi 25 KHz dan *duty cycle* 50 % [15].

Pengaplikasian rangkaian *flyback* dengan MOSFET dan IC TL494 sebagai pengganti pembangkit tegangan *output* konvensional transformer. Hasil pengujian tegangan *ouput* tanpa beban diperoleh sebesar 16V, 24V, 34V sampai 43V dengan frekuensi 1-5 KHz. Sedangkan tegangan *output* dengan beban didapatkan sebesar 6.98 kV, 19 kV, 50 kV [16]. Selain rangkaian *flyback*, *boost converter* diusulkan untuk meningkatkan tegangan *output*. *Boost converter* diintegrasikan dengan rangkaian *Simple Auxiliary Resonant Circuit (SARC)* untuk menghasilkan *soft switching* dari konverter dan efisiensi yang tinggi. Hasil penerapan *boost converter* dan SARC menunjukkan bahwa efisiensi sebesar 94.4% dengan daya *output* 40 watt [17].

Konverter *flyback* ditambahkan pada kontrol umpan balik tegangan yang menghasilkan tegangan *output* 15V dan 9V. Kontrol menggunakan PWM dengan IC TL494 rangkaian *driver* dan mikrokontroler pada tipe Zeta sistem *Hybrid Charger Controller*. Hasil menunjukkan bahwa tegangan pada sisi *output* 9V dengan variasi beban 330-47 Ω . Sedangkan tegangan pada sisi *output* 15V mengasilkan tegangan yang mendekati 14.83V dengan beban yang sama [18]. *Flyback coverter* dirancang untuk mengendalikan nilai tegangan *output* pada beban *brushless dc motor*. Pengendalian nilai tegangan *output* diatur oleh metode PWM. Hasil analisis diperoleh bahwa tegangan input 31 VDC dapat menghasilkan tegangan *output* 15 VDC, resistansi beban

39 Ω , dan frekuensi 31 KHz dengan *duty cycle* mencapai 70%. Perancangan *flyback* menghasilkan daya maksimal 49.6 watt pada pengujian *duty cycle* sebesar 70% [19].

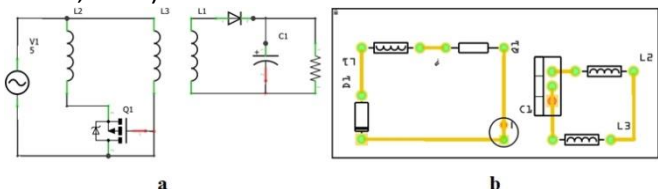
Menaikkan tegangan *output* diaplikasikan pada mobil listrik yang digerakkan oleh motor listrik tiga fasa. Motor listrik disuplai oleh baterai, sehingga inverter 3 fasa dibutuhkan untuk mendapatkan tegangan *output* yang menyesuaikan beban. Transformer *ultra step up DC to DC Converter* serta kontrol *fuzzy logic* diusulkan dalam menguatkan tegangan *output* baterai dan beban. Hasil menunjukkan bahwa tegangan baterai dalam menyuplai beban sebesar 311 Vdc dengan beban 2 kW. Kontrol *fuzzy logic* digunakan sebagai pengaturan tegangan baterai untuk mencapai konstan 311 Vdc [20]. Menaikkan tegangan *output* tidak hanya pada mobil listrik, namun penerapan juga pada plasma *Electrolytic Oxidation*. Metode yang digunakan yaitu *flyback* dalam pembangkitan *high voltage* dengan sumber *low voltage*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa tegangan *input* 10 Vdc dapat menghasilkan tegangan *output* konstan pada *flyback* sebesar 1 kV [21].

Beberapa penelitian yang dilakukan terkait penurunan tegangan atau menaikkan tegangan menggunakan metode seperti rangkaian kontrol PWM dan *soft switching Zero Voltage Switching (ZVS)* yang dapat mengurangi rugi-rugi pensaklaran dan meningkatkan efisiensi 94.83%, namun daya motor sebesar 103.77 watt [13], konverter *flyback* DC-DC yang diterapkan pada transformer *step up* dengan ZVS dan MOSFET IRFP460 mendapatkan tegangan *output* 11.20 kV dan *duty cycle* 60% [14], TRIAC BTA-41600B dengan penyearah gelombang dioda *bridge* MB3510W, kapasitor 330 μ F dan 470 μ F menghasilkan tegangan *output* sebesar 7.08 kV, frekuensi 25 KHz dan *duty cycle* 50 % [15], rangkaian *flyback* dengan MOSFET dan IC TL494 hanya mampu menghasilkan tegangan *output* tanpa beban 16-34 volt. Sedangkan pada saat diberi beban tegangan *output* 6.98-50 kV [16], *boost converter* dengan integrasi rangkaian SARC menghasilkan efisiensi 94.4% [17], Konverter *flyback* ditambahkan pada kontrol umpan balik PWM dengan IC TL494 hanya mendapatkan tegangan *output* sebesar 9-15 volt [18], *Flyback coverter* mendapatkan tegangan *output* 15 Vdc dan *duty cycle* 70% [19], transformer *ultra step up DC to DC Converter* serta kontrol *fuzzy logic* diperoleh tagangan *output* baterai konstan sebesar 311 Vdc [20] dan *flyback* untuk membangkitkan *high voltage* dengan sumber *low voltage* didapatkan dengan tegangan *input* 10 Vdc dan mencapai tegangan *output* sebesar 1 kV [21].

Oleh sebab itu, perancangan transformer *step up* dengan rangkaian konverter *flyback*, *input* tegangan konstan dan dua jenis transformer diusulkan. Rangkaian konverter *flyback* digunakan untuk meningkatkan tegangan *output* pada jenis transformer 3 A dan 5 A. Tegangan *output* digunakan sebagai penggerak motor listrik dan beban dinamis lainnya. Perancangan rangkaian konverter menggunakan *fritzing* dan diuji coba berdasarkan tegangan *input*.

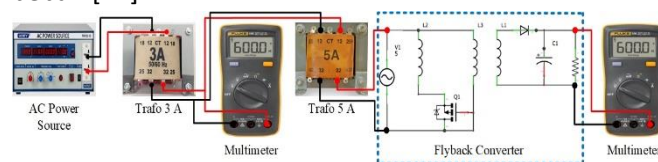
Metode

Metode untuk meningkatkan tegangan *output* pada transformer 3 A dan 5 A menggunakan tambahan rangkaian konverter *flyback*. Desain rangkaian konverter *flyback* menggunakan *fritzing* ditunjukkan pada gambar 1 dengan komponen sebagai berikut : a). sumber tegangan AC, b). induktor, c). transistor, d). kapasitor, e). dioda, dan f). resistor.



Gambar 1. (a) Rangkaian Konverter *Flyback* dan (b) Skema Layout PCB [22].

Rangkaian dasar konverter *flyback* menggunakan kontrol untuk mendeteksi gelombang yang beresilasi. Gelombang yang dihasilkan pada setiap waktu mengalami *threshold* selama gerbang MOSFET tertutup (*turn off*). MOSFET kondisi terbuka (*turn on*) arus tidak mengalir, karena waktu pengisian arus menunggu waktu MOSFET terbuka [23]. Selama MOSFET *on* arus mengalir dari input pada induktor di sisi primer untuk mengisi daya secara linier. Namun pada saat MOSFET *off*, medan magnet yang ditimbulkan oleh induktor menurun. Sehingga daya induktor mengisi kapasitor dan daya beban [24].



Gambar 2. Desain Konverter *Flyback*

Gambar 2 menjelaskan desain konverter *flyback* yang digunakan untuk menaikkan tegangan *output* dengan tambahan rangkaian *flyback*. Tegangan *input* PLN

sebesar 220 volt dihubungkan pada transformer 3 A. Tegangan *output* dc transformer 3 A diukur dengan menggunakan multimeter. Kemudian tegangan *output* 3 A dihubungkan pada transformer 5 A untuk merubah tegangan dc menjadi ac. Perubahan tegangan *output* menerapkan tambahan rangkaian konverter *flyback*. Perubahan tegangan yang dihasilkan oleh konverter *flyback* digunakan sebagai suplai beban dinamis seperti motor listrik 1 dan 3 fasa, pompa, pada Laboratorium Teknik Elektro Universitas PGRI Banyuwangi.

Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengukuran transformator menggunakan multimeter didapat sebagai berikut. Hasil pengukuran dengan *input* tegangan 220 V pada trafo 3A diperoleh tegangan *output* 12V dan 18V DC. Hasil pengukuran dengan *input* tegangan 220 V pada transformer 5A diperoleh tegangan *output* 230V dan 240V AC.

No	Jenis Transformer	Input Tegangan AC	Output Tegangan DC	Waktu (Menit)
1	3 A	220 volt	12.21	1
2			12.52	1
3			12.63	1
4			12.86	1
5			13.12	1
6			13.34	1
7			13.51	1
8			13.76	1
9			13.87	1
10			14.11	1
11			14.32	1
12			14.48	1
13			14.64	1
14			14.96	1
15			15.44	1
16			15.59	1
17			16.07	1
18			16.32	1
19			16.57	1
20			16.89	1
21			17.32	1
22			17.54	1
23			17.78	1
24			17.98	1
25			18.04	1

Tabel 1. Pengujian transformer 3 Ampere.

Tabel 1 merupakan data hasil pengujian transformer 3 A. *input* tegangan konstan yaitu 220 volt dengan variasi waktu pengujian 1 menit. Tabel 2 menjelaskan data hasil

Original Article

pengujian pada transformer 5 A. Gambar 3 merupakan pengujian transformer 3 A dan 5 A. Kemudian hasil perbandingan antara tegangan *input* dan tegangan *output* dapat dilihat pada gambar 4 berikut.

Tabel. 2. Pengujian transformer 5 Ampere.

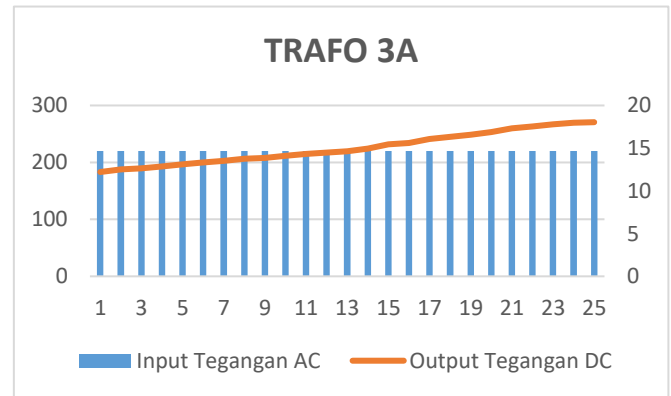
No	Jenis Transformer	Input Tegangan AC	Output Tegangan AC	Waktu (Menit)
1			221	1
2			222.3	1
3			223.6	1
4			224.9	1
5			226.2	1
6			227.5	1
7			228.8	1
8			230.1	1
9			231.4	1
10			232.7	1
11			234	1
12			235.3	1
13	5 A	220 volt	236.6	1
14			237.9	1
15			239.2	1
16			240.5	1
17			241.8	1
18			243.1	1
19			244.4	1
20			245.7	1
21			247	1
22			248.3	1
23			249.6	1
24			250.9	1
25			252.2	1



Gambar 3. Pengujian Transformer 3A dan 5A.

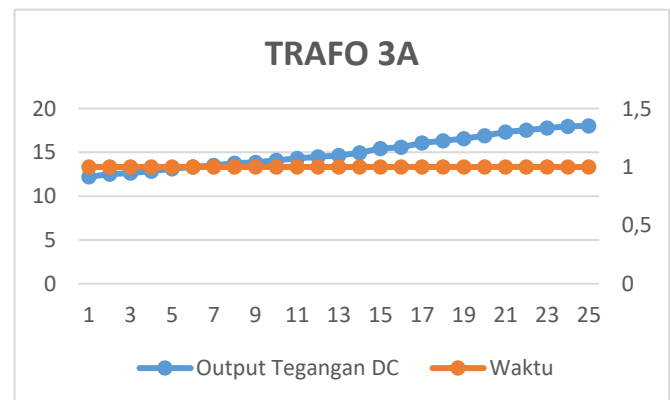
Pengujian transformer ditunjukkan pada gambar 3. Sedangkan Gambar 4 hasil pengujian transformer 3A yang menggunakan *input* tegangan AC konstan 220 volt dengan waktu pengujian selama 1 menit menghasilkan *output* tegangan DC 12.21 volt sampai 18.04 volt. *Output* tegangan menurun disebabkan oleh jumlah lilitan pada sisi sekunder lebih kecil dibandingkan sisi primer [25].

Journal of Educational Engineering and Environment



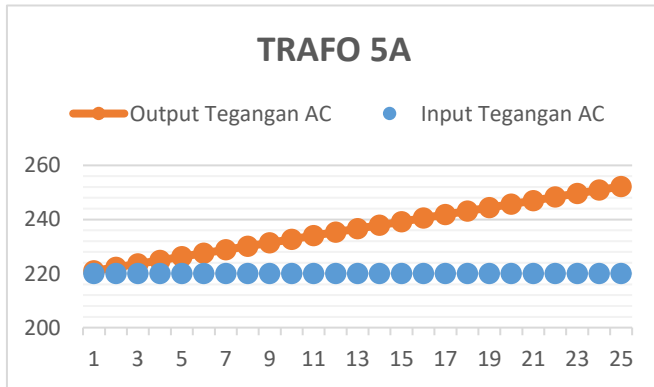
Gambar 4. Perbandingan *Input* Tegangan dan *Output* Tegangan

Tegangan ini disebut dengan “*energy per charged particle*” yang mengalir pada *wire* transformer. Semakin tegangan menurun, maka energi yang disalurkan semakin menurun [26]. Sedangkan *output* tegangan DC selama periode waktu 1 menit meningkat, hal ini dipengaruhi oleh peningkatan jumlah partikel yang dialirkan per detik pada sisi sekunder menerima jumlah energi yang lebih [27].



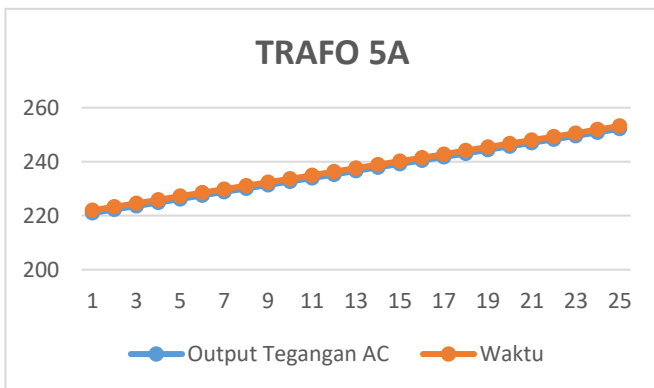
Gambar 5. Perbandingan *Input* Tegangan dan *Waktu*

Gambar 5 merupakan hasil pengujian trafo 3 A dengan perbandingan antara *output* tegangan dan waktu. Peningkatan tegangan dipengaruhi oleh perubahan energi yang disalurkan setiap waktu sebesar 12.21-18.04 volt. Energi yang diterima sama pada sisi primer dan sekunder dalam setiap detik, maka akan meningkatkan partikel yang disalurkan pada setiap lilitan transformer pada sisi sekunder [28]. Gambar 6 menjelaskan pengujian jenis transformer 5 A dengan perbandingan *input* tegangan konstant 220 volt AC dan *output* tegangan yang bervariasi.



Gambar 6. Perbandingan Input Tegangan dan Output Tegangan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *output* tegangan meningkat seiring periode waktu konstant 1 menit sebesar 221 Vac hingga 252.2 Vac. Peningkatan *output* tegangan dengan penambahan rangkaian konverter *flyback*. Sedangkan arus yang mengalir antara transformer dan konverter *flyback* lebih kecil [29]. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah lilitan konduktor dan resistansi. Semakin panjang konduktor, maka resistansi semakin besar dan energi yang dialirkan menyebabkan *over heat* [30].



Gambar 7. Perbandingan Input Tegangan dan Waktu

Gambar 7 merupakan hasil pengujian transformer dengan perbandingan *output* tegangan terhadap waktu. peningkatan *output* tegangan 221 Vac sampai 252.2 Vac tidak mempengaruhi periode waktu. Periode waktu dari 1 menit sampai 25 menit dengan pengambilan waktu konstant yaitu satu menit. Hal ini membuktikan bahwa peningkatan *output* tegangan berbanding lurus dengan periode waktu.

Kesimpulan

Pengujian transformer dilakukan dengan dua jenis 3 A dan 5 A dengan penambahan rangkaian konverter *flyback*. Hasil pengujian transformer 3 A diperoleh *output* tegangan yang meningkat dari 12.21 Vdc hingga 18.04 Vdc dengan periode waktu konstant 1 menit. Sedangkan pengujian transformer 5 A menunjukkan bahwa peningkatan *output* tegangan didapatkan dengan penambahan rangkaian konverter *flyback*. Hasil *output* tegangan dengan penambahan rangkaian konverter *flyback* mencapai 221 Vac sampai 252.2 Vac. Peningkatan *output* tegangan sebanding dengan periode waktu yang konstant yaitu satu menit.

Daftar Pustaka

- [1] Y. P. Tondok, L. S. Patras, and F. Lisi, "Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 83–92, 2019.
- [2] D. W. Darmawan, I. M. Y. Negara, and D. C. Riawan, "Demagnetisasi Arus Inrush pada Transformator Satu Fasa 1 kVA Menggunakan Metode Pengurangan Sisa Medan Magnet dengan Menggunakan Sumber Tenaga Berfrekuensi Sangat Rendah," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 1–7, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16044.
- [3] Badaruddin and F. A. Firdianto, "Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa Di PT X," *J. Teknol. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 75–83, 2016.
- [4] L. N. Widyastuti, H. Suliantoro, and R. Rumita, "Analisis Gangguan Sistem Transmisi Listrik Menggunakan Metode Root Cause Analisis (RCA)," *Ind. Eng. Online J.*, vol. 3, no. 3, pp. 1–7, 2014.
- [5] H. Purnomo, *Analisis Sistem Daya Bagian : Saluran Transmisi Daya Elektrik*. 2016.
- [6] N. Tenda, L. S. Patras, and H. Tumaliang, "Penyusutan Daya Listrik Pada Penyulang Jaringan Transmisi Isimu Marisa," *E-Journal Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 75–83, 2016.
- [7] P. P. Persero, *SUTT/SUTET Dan ROW*. 2021. [Online]. Available: <https://spada.uns.ac.id/>
- [8] A. M. Arifin and F. N. Budiman, "Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik Pada Jaringan 150 kV," 2019. [Online]. Available: [https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/13693/Skripsi_AhmadMursaliArifin_14524003.pdf?sequence=1#:~:text=Analisis kontingensi adalah studi tentang,listrik dapat dilakukan perhitungan terhadap](https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/13693/Skripsi_AhmadMursaliArifin_14524003.pdf?sequence=1#:~:text=Analisis%20kontingensi%20adalah%20studi%20tentang,listrik%20dapat%20dilakukan%20perhitungan%20terhadap)

- [9] Suganda, I. Ilyas, Sugianto, and H. Yulianto, "Analisis Tegangan Drop Jaringan Tegangan Rendah Dengan Metode Pembagian Beban," *Sainstech J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 32, no. Vol. 32 No. 4 (Desember 2022), pp. 9–18, 2022, doi: 10.37277/stch.v32i4.1445.
- [10] N. Y. Siregar, B. Sirait, and Purwoharjono, "Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan 150 kV Di PT. PLN (PERSERO) Sistem Khatulistiwa," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [11] A. Setiawan and A. Priatama, "Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV Di PLN Sungguminasa," 2021. [Online]. Available: https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/14803-Full_Text.pdf
- [12] A. Muhtar, Iwan, H. Antarissubhi, and Suryani, "Analisis Rugi Daya Jaringan Distribusi Primer Pt. Pln Ulp Sengkang Sulawesi Selatan," *J. Vertex Elektro*, vol. 13, no. 01, pp. 18–24, 2021, [Online]. Available: <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/vertex/article/view/7135>
- [13] Z. J. A.-R. Arief Rahman, J. Windarta, and Hermawan, "Perancangan Zero Voltage Switching Buck Converter Dengan Beban Resistif Bervariasi Dan Sebagai Catu Daya Untuk Motor Arus Searah," *Transient*, vol. 7, no. 1, p. 108, 2018, doi: 10.14710/transient.7.1.108-115.
- [14] N. A. Pratiwi, A. Syakur, and Karnoto, "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls 11.20 kV Dengan Menerapkan Zero Voltage Switching (ZVS) Pada Konverter Flyback," *Transmisi*, vol. 20, no. 1, p. 8, 2018, doi: 10.14710/transmisi.20.1.8-14.
- [15] A. Jatmika, A. Syakur, and H. Afrisal, "Driver Dengan Menggunakan Modul Triac Dimmer Dan Berbasis Wireless Untuk Diaplikasikan Pada Jendela Perangkap," *J. Transient*, vol. 9, no. 4, pp. 589–596, 2020.
- [16] J. N. A. Prakosa, M. Facta, and M. A. Riyadi, "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Berbasis Konverter Flyback," *Transmisi*, vol. 17, no. 2, pp. 63–69, 2015.
- [17] D. B. Saputra, H. Suryoatmojo, and A. Musthofa, "Desain Dan Implementasi Soft Switching Boost Konverter Dengan Simple Auxillary Resonant Switch (Sarc)," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 2301–9271, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16112.
- [18] G. C. Nugroho, T. Andromeda, and Y. Christyono, "Perancangan Konverter Arus Searah Tipe Flyback Sebagai Catu Daya Rangkaian Driver Dan Microcontroller Pada Konverter Tipe Zeta," *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 897, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.897-903.
- [19] A. Mahendra, Sapril, and M. Masarrang, "Perancangan Flyback Converter Untuk Catu Daya Driver Motor BLDC (Brushless Direct Current)," *J. Ilim. Foristek*, vol. 9, no. 2, pp. 39–46, 2019.
- [20] W. M. Akbar, E. Purwanto, and I. Ferdiansyah, "Rancang Bangun Ultra Step Up DC to DC Converter Pada Mobil Listrik," *INOVTEK - Seri Elektro*, vol. 2, no. 2, p. 80, 2020, doi: 10.35314/ise.v2i2.1333.
- [21] K. M. Habsari, W. Wijono, and D. J. D. H.S., "Metode Flyback pada Pembangkitan Tegangan Tinggi untuk Aplikasi Plasma Electrolytic Oxidation," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 6, no. 3, 2017, doi: 10.22146/jnteti.v6i3.341.
- [22] U. M. D. E. C. D. E. Los, "Datasheet Trafo Flyback," 2020.
- [23] A. Saliva, "Design Guide for QR Flyback," 2013.
- [24] T. Hudson and M. Ametller, "How to Design a Flyback Converter in Seven Steps," 2022 [Online]. Available: [MonolithicPower.com](https://www.monolithicpower.com)
- [25] M. F. L'Annunziata, *Chapter 8 - Electromagnetic Radiation: Photons*. 2016. doi: 10.1016/B978-0-444-63489-4.00008-3.
- [26] J.-L. Lagrange and G. L. Lagrangia, "Motion of a Charged Particle in a Magnetic Field," 2020.
- [27] J.-L. Lagrange and G. L. Lagrangia, "Electric Potential Energy," 2020.
- [28] G. B. Arfken, D. F. Griffing, D. C. Kelly, and J. Priest, "Magnetic Field of Electric Current," in *University Physics*, 1984, pp. 628–649. doi: 10.1016/b978-0-12-059860-1.50038-2.
- [29] N. Wang et al., "MEMS-Casting Fabricated Chip-Style 3D Metal Solenoidal Transformers towards Integrated Power Supply," *Micromachines*, vol. 13, no. 2, 2022, doi: 10.3390/mi13020325.
- [30] W. Ge, C. Zhang, Y. Xie, M. Yu, and Y. Wang, "Analysis of the electromechanical characteristics of power transformer under different residual fluxes," *Energies*, vol. 14, no. 24, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/en14248244.