

Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa Tak Terkendali dari Generator Kapal AC 3 Fasa

Diego Ilham Yoga Agna^{1*}, Rama Arya Sobhita², Anggara Trisna Nugraha³

¹Jurusan Teknik Listrik Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia,
Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, 60111, Indonesia

Email: diegoagna@student.ppns.ac.id¹, ramosobhita@student.ppns.ac.id², anggaranugraha@ppns.ac.id³

Abstrak

Perubahan berbagai aspek di era ini, salah satunya adalah aspek teknologi yang juga berkembang pesat, mempengaruhi berbagai bidang. Kemudahan mendapatkan informasi, membuat segala sesuatu baik ilmu maupun barang berkembang. Menghadapi kemajuan tersebut, salah satu ilmu kelistrikan mengembangkan ilmu yang sudah ada, agar lebih optimal dimanfaatkan di masa mendatang. Mengoptimalkan ilmu dengan kajian teori sangat membantu generasi penerus untuk terus berinovasi dengan mudah, sehingga penggunaannya lebih efektif dan ergonomis. Mengetahui bahwa kebutuhan listrik di bidang industri cukup besar dan membutuhkan sumber energi yang besar, maka salah satu cara untuk mengoptimalkan ilmu adalah dengan mempelajari ilmu tentang rangkaian penyearah tak terkendali tiga fasa dari generator gelombang penuh,

Kata kunci: 3 phasa, penyearah, gelombang penuh, generator

Abstract

1. Pendahuluan

Perkembangan zaman menyebabkan banyak perubahan dalam berbagai aspek, aspek yang berkembang pesat adalah aspek teknologi. Teknologi tidak lagi dapat dipisahkan dengan kehidupan manusia, karena sifat teknologi itu sendiri sangat memudahkan kehidupan manusia dalam berbagai bidang. Teknologi yang diciptakan seiring dengan perkembangan zaman, tentunya komposisi komponen kelistrikan juga ikut berkembang. Komponen yang disusun dengan baik dan benar tentunya memerlukan keahlian dan pengetahuan dalam pengerjaannya, oleh karena itu pemahaman dasar-dasar komponen kelistrikan sangat penting untuk kehidupan kedepannya. Komponen kelistrikan sangat beragam dengan berbagai fungsinya, sehingga kajian komponen kelistrikan akan sangat luas dan membutuhkan waktu yang lebih lama, oleh karena itu untuk optimasi ilmiah ini dilakukan dalam lingkup yang lebih kecil, yaitu mengenai komponen kelistrikan penyearah tiga fasa, mengingat kebutuhan industri. juga bagus dalam penerapan listrik ini. Dengan optimalisasi yang baik, akan membuat suatu rangkaian bekerja lebih efektif dan ergonomis dari sebelumnya.

Kebutuhan industri yang seperti kita ketahui semakin dibutuhkan di era sekarang ini membutuhkan kelistrikan yang baik pula, sehingga pemahaman dan pemutakhiran sangat diperlukan. Sistem penggerak motor listrik menggunakan 68% dari total listrik ini untuk proses industri intensif energi esensial seperti pendinginan, pompa, kipas angin, kompresor, penanganan material, pemrosesan material, dan fasilitas Sistem HVAC (ENERGY, nd) 1 Mesin industri dari berbagai jenis dan fungsinya tentunya memiliki banyak macam kebutuhan listrik, seperti daya yang digunakan, tegangan yang harus dikeluarkan dan masih banyak lagi. Berfokus pada listrik tiga fasa yang sering digunakan pada permesinan, khususnya genset, merupakan topik krusial yang baik untuk dikaji lebih dalam, agar penggunaannya lebih baik. Dengan studi yang baik dan keberhasilan studi,

Dengan adanya kajian ini, diharapkan kajian ini mampu menghasilkan ide-ide baru untuk penggunaan rangkaian penyearah tak terkendali tiga fasa dalam dunia industri, khususnya dari sumber generator AC yang berperan penting dalam menjalankan permesinan lainnya di dunia industri. dunia industri.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pembangkit

Generator adalah alat untuk menghasilkan energi listrik yang mampu mengubah suatu gerakan atau energi mekanik menjadi energi listrik. Generator mampu bergerak untuk menghasilkan tenaga listrik dalam bentuk bolak-balik atau biasa disebut AC dan juga mampu menghasilkan tenaga listrik secara langsung atau biasa disebut DC, hal ini disesuaikan dengan kebutuhan dari generator itu sendiri, namun dalam kondisi genset menghasilkan tenaga listrik

AC, generator disebut juga alternator. Dalam menggerakkan generator menggunakan teori teori yaitu teori hukum Faraday dan didukung juga dengan hukum Lenz.

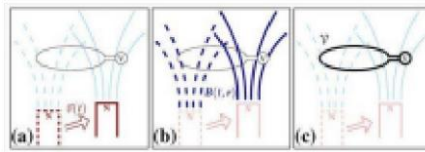
a. Penggunaan genset

Sesuai dengan kemampuan genset yang mampu mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, genset memiliki peran penting dalam mensuplai daya ke peralatan lain, terutama dalam dunia industri yang bebannya banyak dan tentunya membutuhkan peralatan dan mesin. pasokan listrik yang memadai dan terdistribusi dengan baik. baik, baik pada posisi sumber utama maupun sumber cadangan. Generator sinkron tiga fasa dengan penyearah dapat mengalami berbagai kesalahan listrik selama operasinya. (Russell Sabir, 2019)

b. Sistem kerja genset

Generator dalam aksinya menghasilkan gerakan berupa putaran, putaran yang terjadi pada generator ditenagai oleh bahan bakar berupa solar dengan menggerakkan generator yang berupa kumparan tembaga berupa kawat yang terdiri dari kumparan statis. atau stator dan juga kumparan atau rotor yang berputar. Putaran generator ini memanfaatkan medan magnet untuk menghasilkan listrik dengan memanfaatkan hukum Faraday dan hukum Lenz.

1. Hukum Faraday Hukum induksi Faraday sering dinyatakan sebagai “perubahan fluks magnet menyebabkan gaya gerak listrik (EMF)”; atau, lebih hati-hati, “perubahan fluks magnet dikaitkan dengan EMF” (Kinsler, 2020)³. Hukum Faraday menyatakan bahwa ketika sebuah konduktor bergerak melalui medan magnet dengan kekuatan medan tertentu, tingkat tegangan dihasilkan dalam konduktor yang bergantung pada kecepatan relatif antara konduktor dan medan (JG Kopp, 2020)⁴.



Gambar 1. magnet faraday (Kinsler, 2020)

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Symbol:

Φ_B = Fluks Magnetik (weber)

Namun jika aplikasinya digunakan pada solenoida yang terdiri dari beberapa N lilitan, maka rumusnya berkembang menjadi

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{d(N\Phi_B)}{dt}$$

Symbol:

Φ_B = Fluks Magnetik (weber)

N = number of turn coil

2. Hukum Lenz merupakan salah satu hukum yang juga berperan dalam kerja magnet pada generator seperti hukum Faraday. Hukum Lenz sebagai hukum kekekalan energi antara medan listrik dan medan magnet memungkinkan arus muatan dan arus spin yang dihasilkan oleh materi dan antimateri menjadi simetris satu sama lain (Teresa oh, 2020). Ketika medan magnet dinyalakan di hadapan objek konduktif, arus eddy (atau arus Foucault) diinduksi pada objek. Arus eddy adalah loop arus listrik yang diinduksi dalam konduktor oleh medan magnet yang bervariasi waktu dalam konduktor (williams).

c. Pembangunan pembangkit

Generator secara garis besar dibagi menjadi 2 bagian yang dibedakan berdasarkan cara geraknya, yaitu bagian bergerak dan bagian tidak bergerak. Bagian yang bergerak disebut sebagai bagian "rotor". Bagian stasioner dari generator disebut sebagai bagian "stator".

2.3 Rangkaian penyearah

Rangkaian penyearah adalah usaha untuk mengubah arah rangkaian AC yang bergerak bolak-balik, menjadi rangkaian DC yang bergerak satu arah dengan memberikan hambatan yang secara khusus menghalangi arus dan tegangan dari satu arah saja. Rangkaian penyearah dibagi menjadi rangkaian penyearah tidak terkontrol, rangkaian penyearah setengah terkontrol dan rangkaian penyearah terkontrol. Untuk membuat rangkaian penyearah setengah gelombang diperlukan komponen berupa resistor, kapasitor, dioda, trafo.

a. Rangkaian penyearah tidak terkontrol

Penyearah tak terkendali, merupakan salah satu bentuk rangkaian elektronika daya yang memiliki fungsi sebagai pengubah tegangan AC menjadi tegangan DC dimana perubahan tersebut dapat diatur dan dikendalikan sehingga dapat menghasilkan keluaran yang bervariasi sesuai kebutuhan. Efektivitas skema yang diusulkan ditunjukkan pada variable power fed 3- ϕ uncontrolled rectifier dihubungkan dengan boost converter (Jain, 2018).

2.4 Gelombang sinusoidal

Gelombang sinusoidal adalah gelombang keluaran berupa sinus dan cosinus. Pada percobaan ini khususnya bidang kelistrikan, sinyal gelombang ini digunakan untuk melihat frekuensi yang dipancarkan oleh listrik, sehingga memudahkan manusia atau peneliti untuk mempelajari kelistrikan.

Umumnya gelombang penuh dan setengah gelombang. Pada gelombang penuh, gelombang berbentuk seperti gunung dan dihubungkan oleh lembah, hal ini terus berulang hingga aliran listrik padam. Pada gelombang setengah, sesuai dengan namanya, hanya setengah gelombang yang keluar berupa perbukitan tanpa lembah, akan terus bergerak jika aliran listrik terus disambungkan. Bentuk gelombang yang dihasilkan pertama mungkin tidak linier sempurna, termasuk harmonik yang tidak diinginkan. (soon-jae kweon, 2022). Pada langkah peningkatan linearitas berikut, harmonik ini biasanya dilemahkan dengan menggunakan filter. Karena linearitas bentuk gelombang ditingkatkan, presisi sistem EIS dipastikan. (soonjae kweon, 2022).

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan ini adalah metode observasi partisipan. Metode ini memposisikan peneliti sebagai aktor ganda, peran yang dilakukan adalah sebagai pengamat percobaan dan peran lain yang dilakukan yaitu sebagai bagian dari apa yang akan diamati. Penulis dalam penelitian ini mendapatkan data besarnya tegangan, arus dan daya dari rangkaian penyearah yang mendapatkan suplai tegangan dari generator 3 fasa ke beban yang akan dialiri. Hal ini diukur untuk melihat seberapa optimal kerja generator pada rangkaian penyearah yang dialirkan ke beban yang ada, sehingga diharapkan dengan diperolehnya data tersebut dapat meminimalisir kerusakan pada alat mesin yang ditenagai oleh generator.

3.1 Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini adalah membuat urutan yang terorganisir, memanipulasi jumlah dan menyingkat data, sehingga diharapkan nantinya mudah dibaca untuk ditinjau.

- Output DC

$$V_{o(dc)} = (3V_{m,L-L})/\pi =$$

$$V_{o(dc)} = 0,955 V_{m,L-L} = 1,654 V_{m,L-N}$$

- Output RMS

$$V_{o(rms)} = V_{m,L-N} \times \sqrt{\left(\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}\right)} = 1,6554 \times V_{m,L-N}$$

$$V_{o(rms)} = \frac{V_{m,L-L}}{\sqrt{3}} \times \sqrt{\left(\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}\right)} = 0,95575 \times V_{m,L-L}$$

3.2 Media Penelitian

Media penelitian merupakan aspek yang perlu diperhatikan dalam membuat percobaan, dengan media penelitian yang baik dan mudah digunakan akan memudahkan penulis dalam mengumpulkan data dan memudahkan pembaca dalam mencerna hasil percobaan. Berikut adalah media yang digunakan dalam penelitian ini:

a. Perangkat Lunak PSIM

Perangkat lunak PSIM atau kependekan dari PowerSim adalah perangkat lunak yang berfokus pada simulasi virtual yang dirancang untuk elektronika daya, penggerak motor, dan sistem konversi daya. Software ini sangat membantu dan memudahkan peneliti untuk secara tidak langsung melakukan simulasi hanya melalui laptop. Pengambilan data sengaja dilakukan melalui software sehingga tidak memakan banyak waktu.

Software PSIM tidak hanya terpaat sebagai media simulasi, namun software ini mampu membantu memasukkan data berupa bit yang nantinya dapat digunakan sebagai media mikrokontroler. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa software ini sangat membantu tugas manusia dalam berbagai hal, khususnya dalam dunia elektronika.

4. Hasil dan Diskusi

Pengumpulan data dalam percobaan ini dilakukan untuk mencapai tujuan dari penulisan ini dan kemudian didiskusikan tentang hasil yang diperoleh.

4.1 Seri Eksperimen

Rangkaian yang dilakukan pada percobaan ini merupakan rangkaian simulasi yang dibuat pada software PSIM dengan komponen yang terpasang adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Komponen simulasi yang dibuat pada *software PSIM*

Number	Componen Name	Pcs
1	Alternator	3
2	Dioda	6
3	Resistor	1
4	Voltmeter	2
5	Ampermeter	2
6	Trasformator	3

a. Alternator

Alternator atau generator 3 fasa pada rangkaian ini berperan sebagai sumber energi yang awalnya berupa AC yang akan searah dengan rangkaian penyearah, meskipun tidak sepenuhnya berubah menjadi bentuk DC atau searah. Tegangan sumber dibagi menjadi 5 besaran seperti pada tabel seperti yang Anda lihat. Kita membutuhkan 3 alternator pada simulasi ini hanya karena kita menggunakan genset 3 fasa, jika kita menggunakan genset 1 fasa maka kita hanya membutuhkan 1 alternator atau genset

b. Dioda

Merupakan komponen penting yang akan menghalangi atau membatasi pergerakan arus dan tegangan yang berlawanan arah, sehingga dioda hanya akan mengalirkan arus dan tegangan jika satu arah searah dengan pemasangan dioda.

c. Penghambat

Berikut contoh resistansi beban setelah tegangan keluar dari rangkaian penyearah. beban yang digunakan dalam percobaan diberi resistansi 20 kohm.

d. Pengukur volt

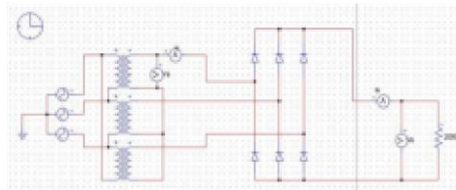
Yaitu alat ukur untuk mengukur besarnya tegangan yang masuk atau keluar rangkaian. Posisi peletakan voltmeter dengan rangkaian harus sejajar agar voltmeter dapat membaca tegangan. Penempatan posisi ini juga mempengaruhi hasil yang diinginkan, jika diletakkan sejajar dengan beban maka tegangan yang mengalir pada beban akan terdeteksi.

e. Ampere Meter

Berikut salah satu alat ukur yang mampu mengukur arus pada rangkaian. Amperemeter pada rangkaian harus dirangkai secara seri agar arus dapat langsung terbaca oleh alat ukur. Komponen tersebut dipasang sedemikian rupa sehingga membentuk rangkaian penyearah 3 fasa yang tidak terkontrol yang disuplai oleh "Alternator" generator 3 fasa. Berikut adalah gambar dari rangkaian software PSIM.

f. Transformator

Trafo adalah suatu alat yang mampu mengubah tegangan menjadi lebih besar atau lebih kecil, atau bisa juga disebut sebagai pengatur keluaran dari sumber, jika sumber dianggap memiliki tegangan yang besar sedangkan alat yang ingin dialiri hanya membutuhkan tegangan kecil, maka kerja trafo akan bekerja menurunkan tegangan. yang keluar dari sumber sehingga dapat digunakan dengan aman oleh alat lain disebut step down, begitu juga sebaliknya jika tegangan keluaran terlalu kecil maka trafo akan membesar yang biasanya disebut step up. Pada rangkaian ini dipasang sejumlah 3 buah trafo, hal ini dikarenakan untuk menjalankan pekerjaan alternator 3 fasa maka trafo juga harus memiliki 3 fasa juga.

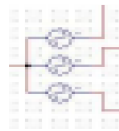


Gambar 4. Simulasi PSIM

Pada gambar di atas terlihat bahwa komponen-komponen tersebut tersusun dalam rangkaian penyearah yang berguna untuk mengubah tegangan sumber berupa AC atau bolak-balik, menjadi DC dalam bentuk searah.

Persiapan komponen dilakukan agar sesuai dengan pekerjaan komponen dan berfungsi dengan baik untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Berikut alasan penempatan komponen yang terpasang pada rangkaian penyearah.

a. Alternator



Gambar 5. alternator

Alternator tersusun paling kiri yang berfungsi sebagai sumber tegangan dan arus yang berasal dari alternator atau generator 3 fasa. Alternator diatur sedemikian rupa untuk memasok listrik dengan baik. Besarnya listrik yang dikeluarkan oleh alternator pada percobaan ini adalah 220 Volt, sehingga dibutuhkan pengatur besaran listrik tersebut.

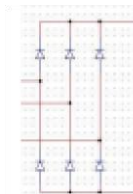
b. Transformator



Gambar 6 Transformator

Transformator adalah pengatur jumlah yang keluar dari sumber. Pada rangkaian trafo diletakkan tepat di sebelah sumber yang sesuai dengan kebutuhan alternator yang bertegangan besar dan membutuhkan pengatur tegangan agar aman digunakan oleh beban.

c. Dioda



Gambar 7 Dioda

Dioda merupakan komponen penting yang berguna sebagai penyearah dengan cara membatasi pergerakan arus dan tegangan yang berlawanan arah sehingga berjalan dalam satu arah saja. Penempatan dioda sudah sesuai dengan fungsinya yaitu pada sisi trafo sehingga setelah sumber keluar akan langsung diatur oleh trafo dan akan langsung disearahkan menjadi DC, hal ini dilakukan untuk menyesuaikan beban yang ada .

d. Resistor



Gambar 8 resistor

Resistor menurut fungsinya yaitu beban yang melekat pada rangkaian diberi posisi paling kanan karena resistor ini dianggap akhir dari perjalanan listrik. Resistor dalam rangkaian dibuat memiliki resistansi 20.000 Ohm.

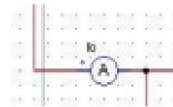
e. Pengukur Volt



Gambar 9. Volt Meter

Voltmeter adalah alat pengukur terpisah yang memiliki pengaruh kecil pada rangkaian ini. Voltmeter diletakkan pada bagian yang ingin diambil datanya, misalnya V_s atau sumber tegangan diletakkan di dekat trafo, kemudian V_o atau tegangan keluaran diletakkan di dekat resistor. Voltmeter dalam aplikasinya harus dipasang paralel dengan rangkaian,

f. Pengukur Ampere



Gambar 10. Ampere Meter

Ammeter adalah alat ukur yang juga digunakan untuk melihat besarnya arus dalam suatu rangkaian. Sesuai dengan fungsinya, penempatan amperemeter dipengaruhi dimana kita ingin mengetahui besarnya arus dalam suatu rangkaian, misalnya I_s atau sumber arus yang diletakkan di sebelah trafo dan I_o atau arus keluar yang diletakkan di dekat resistor. Amperemeter ini digunakan secara seri dengan rangkaian agar dapat terbaca dengan baik.

Pada rangkaian simulasi juga terlihat ada 2 simbol yang belum dijelaskan pada bagian ini. Bagian-bagiannya adalah simulasi waktu dan ground

1. Simulasi waktu



Gambar 11. Simulasi waktu

Ini merupakan pilihan yang disediakan oleh software Psim untuk memudahkan peneliti atau pengguna dalam mengatur berapa lama gelombang terjadi pada simulasi di software Psim. Pada percobaan ini waktu yang digunakan adalah 0,1 detik, sehingga keseluruhan percobaan seragam

2. Pembumian



Gambar 12. Pembumian

Merupakan upaya pengamanan dalam dunia kelistrikan. Grounding berguna sebagai pelepasan listrik langsung ke tanah sehingga jika terjadi kelebihan arus atau tegangan dan kebocoran maka grounding lah yang bekerja. Pada simulasi grounding ini sesuai fungsinya sehingga dipasang pada sumber listrik atau alternator Pada kehidupan nyata grounding langsung menginjak tanah dengan tongkat aluminium atau perunggu. Impedansi pentanahan sistem pentanahan yang menggunakan bahan tambahan lebih stabil, sedangkan yang tanpa bahan tambahan terlihat berfluktuasi (Aizat Azmi, 2019)13.

5. Kesimpulan

Dari percobaan yang telah dilakukan kali ini, tentunya telah diperoleh hasil dari percobaan tersebut dan menjawab pertanyaan yang ada. Dengan demikian kita dapat menyimpulkan bahwa:

1. Generator AC dapat diubah menjadi listrik DC menggunakan rangkaian penyearah.
2. Dioda adalah komponen semikonduktor yang mampu menutup aliran listrik satu arah menjadi satu arah, sehingga mengubah aliran listrik AC menjadi DC.
3. Rangkaian penyearah dapat digunakan secara efektif dengan bantuan kapasitor untuk menghilangkan ripple atau riak di dalamnya.

2.5

6. Daftar Pustaka

Aizat Azmi, NA-M. (2019). Penggunaan bahan tambahan dalam sistem pentanahan: review. *Jurnal Teknik Elektro dan Ilmu Komputer Indonesia*, 453-460.

ASWARDI, SAYA (2020). *TEKNIK ELEKTRONIKA DAYA*. Penerbit Buku IRDH.

Chen, J.-G., lee, y.-d., & park, s.-y. (2015). PI adaptif mendapatkan kontrol untuk mewujudkan pengisian arus riak sinusoidal. *IEEE Jelajahi*. Seoul, Korea Selatan.

ENERGI, UD (nd). *Mesin elektrik*. Diperoleh dari Manufaktur Lanjutan: <https://www.energy.gov/eere/amo/electricmachines>

ge, B., Li, X., Zhang, H., Liu, Y., S.Balog, R., & AbuRub, H. (2018). Kontrol Prediktif Daya Riak Seketika Langsung untuk Pemisahan Riak Aktif Inverter Satu Fasa. *IEEE Xplore*, 3165 - 3175.

JG Kopp, BG (2020). *Magnetik Pengukur aliran*. CRC Tekan.

Jain, T. (2018). Diagnosis Kesalahan untuk Gangguan Sirkuit Terbuka dalam Penyearah 3-Fase Tidak Terkendali dari Sistem Konversi Tenaga Energi Angin. *Konferensi Internasional tentang Kontrol, Otomasi, Robotika, dan Visi (ICARCV)* (hlm. 92-97). *IEEE Mengeksplorasi*.

Juhari, DE (2014). *Generator*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.

Kinsler, P. (2020, 6 Mei). *Hukum Faraday dan Induksi Magnetik: Sebab Akibat, Eksperimen dan Teori*. hlm.150-163.

Nimo, Y.z. (2019). Kompensasi Ketidakseimbangan dan Keseimbangan Otomatis Sistem Rotor Bantalan Magnetik Aktif dengan Menggunakan Kontrol Pembelajaran Iteratif. *penjelajahan IEEE*.

PatilSwapnil Sanjay, PW (2018). *MENGGUNAKAN INVERTER H-BRIDGE CASCADED MULTILEVEL SIMETRIS*. PUBLIKASI NAUVATEUR.

Ruihua li, H.l. (2018, 21 Agustus). Identifikasi Kerusakan Isolasi Stator Generator Besar Berdasarkan Sistem Sensor PZT dan Fitur Hibrida Lamb Waves.

RusselSabir, DR (2019). Deteksi dan Lokalisasi Gangguan Listrik pada Generator Sinkron Tiga Fasa dengan Penyearah. *Konferensi Internasional tentang Penggerak Listrik & Elektronik Daya (EDPE)*. Yhe High Tatras, Slovakia: IEEE.

segera-jae kweon, A.k.-i. (2022). *Generator Sinyal Sinusoidal On-chip untuk Spektroskopi Impedansi Listrik: Tinjauan Metodologis*. *IEEE Xplore*.

Teresa oh, XL (2020). *Sensitivitas fermion Dirac and Weyl fermion oleh Konservasi Energi*. Alun-alun Riset.

Williams, H. (nd). *Mesin gerak abadi yang ditenagai oleh hukum Lenz*. gerbang penelitian.

Zhu, Y., Shi, S., Wang, F., Zhuo, F., Cheng, S., & Yi, H. (2018). Modulasi Gelombang Kuasi Persegi Dengan Kemampuan Transformasi Tegangan yang Diterapkan pada Modular Multilevel DC-DC Converter. Kongres dan Pameran Konversi Energi IEEE 2018 (hlm. 23-27). Portland,OR,USA: IEEE Explore.