

Analisis Harmonisa Pada *Trainer Lab* Generator Sinkron Tiga Fasa NV7017

Azmi Rizki Lubis¹, Adi Sutopo², Marwan Affandi³

^{1,2,3}Universitas Negeri Medan

*)Corresponding author, email: azmirizkilubis@unimed.ac.id

| Abstrak | INFO. |
|---|--|
| <p><i>Trainer Lab</i> Generator Sinkron satu dari beberapa peralatan praktikum mesin listrik di laboratorium konversi energi listrik Universitas Negeri Medan. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis arus distorsi harmonisa total (THD_i) yang dihasilkan oleh <i>Trainer Lab</i> generator sinkron tiga fasa NV7017 dan memperbaiki faktor dayanya menggunakan <i>single tuned passive filter</i>. Setelah dilakukan pengukuran diperoleh THD_i yang dihasilkan sebesar 82,1%, tegangan sebesar 225 volt, arus sebesar 6,2 amp, daya aktif sebesar 600 watt, daya semu sebesar 1490 VA, daya reaktif sebesar 460 var, $\cos\phi$ sebesar 0.83, dan frekuensi sebesar 50 Hz. Dari hasil penelitian yang diperoleh untuk meningkatkan faktor kerja <i>Trainer Lab</i> generator sinkron tiga fasa NV7017 yang semula dari 0,83 menjadi 0,95 menggunakan <i>single tuned passive filter</i> berpengaruh juga terhadap pengurangan arus distorsi harmonisa total yaitu menjadi 80,92.</p> | <p>Info. Artikel: No. 452 Received. July, 21, 2023 Revised. August, 03, 2023 Accepted. August, 08, 2023 Page. 566 – 572</p> <p>Kata kunci: ✓ Synchronous generator ✓ harmonics ✓ single tuned passive filter</p> |
| <p>Abstract</p> <p><i>Synchronous Generator Lab Trainer, one of several electrical machine practicum equipment in the electrical energy conversion laboratory, Universitas Negeri Medan. This study aims to analyze the total harmonic distortion current (THDi) generated by the NVIS 7017 three-phase synchronous generator lab trainer and improve its power factor using a single tuned passive filter. After the measurements were taken, the resulting THDi was 82.1%, the voltage was 225 volts, the current was 6.2 amps, the active power was 600 watts, the apparent power was 1490 VA, the reactive power was 460 var, the $\cos\phi$ was 0.83, and the frequency was 50 Hz. From the research results obtained to increase the power factor of the three-phase synchronous generator lab trainer NVIS7017 which was originally from 0.83 to 0.95 using a single tuned passive filter also has an effect on reducing the total harmonic distortion current, which is to 80,92.</i></p> | |

PENDAHULUAN

Energi listrik pada saat sekarang ini merupakan kebutuhan pokok baik bagi pengguna rumah tangga maupun industri. Pada sisi pembangkit terdapat beberapa komponen listrik satu diantaranya yang paling penting adalah generator. Generator ini nantinya yang akan menghasilkan energi listrik dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [1], [2]. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Abdullah dan kawan – kawan menunjukkan bahwa generator sinkron menyebabkan permasalahan kualitas daya yang besar pada titik netral sistem distribusi [3], [4].

Sebelum maraknya penggunaan peralatan elektronika, telah diakui bahwa harmonisa merupakan penyebab berbagai masalah dalam sistem kelistrikan dan peralatan tenaga arus bolak – balik terutama generator [5], [6]. Tegangan yang dihasilkan generator tidak sinusoidal murni karena telah terdistorsi oleh beban nonlinier dengan berbagai macam kandungan tegangan maupun arus harmonisa [7].

Generator sinkron juga menyebabkan gangguan pada jaringan telepon karena adanya induksi harmonisa tegangan triplen kedalam jaringan telepon [8]. Generator sinkron juga mengakibatkan panas pada tahanan pembumian netral generator ketika dioperasikan secara paralel dengan jaringan distribusi [9]. Telah terungkap bahwa arus harmonisa orde ketiga yang mengalir ke tahanan pembumian netral generator berasal dari generator sinkron itu sendiri [10]. Arus harmonisa yang mengalir di jaringan distribusi ini berlawanan arah dengan aliran beban sehingga poros generator akan

mengalami getaran mekanis dan juga dapat menimbulkan torsi listrik sehingga banyak kehilangan panas pada kumparan stator [11], [12].

Arus harmonisa triplen adalah arus dengan urutan ke - 3, ke - 9, ke - 15 dan seterusnya. Dalam kondisi seimbang, arus harmonisa triplen akan bertambah di netral. Dengan demikian, besarnya arus harmonisa triplen pada netral adalah tiga kali lipat arus harmonisa triplen fasa [13]. Arus harmonisa triplen adalah arus harmonisa urutan nol yang kembali ke netral. Ketika generator terhubung ke jaringan, arus harmonisa triplen menjadi tinggi karena catu daya utilitas akan terjadi hubung singkat atau impedansi urutan nol rendah ke arus harmonisa triplen [14].

Arus harmonisa triplen akan menyebabkan kelebihan beban pada konduktor netral atau batang bus dan akibatnya penurunan tegangan yang cukup besar antara netral dan pembumian [15]. Pada transformator step down delta-wye, netral dari belitan sekunder wye akan membawa arus harmonisa triplen. Untuk mengatasi hal ini, arus harmonisa triplen akan bersirkulasi dalam belitan primer delta yang dapat menyebabkan panas berlebih dan kegagalan transformator [16]. Kapasitor daya yang terhubung dengan Wye dapat rusak oleh arus harmonisa triplen yang tinggi selama resonansi paralel [17]. Dalam beberapa kasus, arus harmonisa triplen telah menyebabkan kegagalan pada tahanan pentanahan netral (NGR) [18].

Didalam pelaksanaan praktikum mesin listrik yang dilakukan workshop Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan terdapat pengujian karakteristik rangkaian terbuka generator sinkron tiga fasa dan pengujian karakteristik rangkaian hubung singkat generator sinkron tiga fasa menggunakan *Trainer Lab Generator Sinkron Tiga Fasa NV7017*. Berdasarkan latar belakang masalah yang ada maka peneliti ingin melakukan studi analisis harmonisa pada *Trainer Lab Generator Sinkron Tiga Fasa NV7017*.

STUDI PUSTAKA

Generator Sinkron

Generator sinkron, juga dikenal sebagai alternator, adalah mesin sinkron yang dapat mengubah daya mekanis menjadi daya listrik tegangan arus bolak-balik. Arus DC yang dipasang ke rotor akan menghasilkan medan magnet pada rotor. Penggerak mula, juga dikenal sebagai prime mover, akan memutar rotor dengan kecepatan tertentu, membuat medan magnet berputar di dalam mesin dan menginduksikan tegangan pada belitan stator. Dalam situasi ini, belitan medan berada di rotor, sedangkan belitan jangkar berada pada stator. Generator sinkron yang lengkap ditunjukkan pada Gambar 1 **Error! Reference source not found.** di bawah ini :



Gambar 1. Generator Sinkron

Filter Harmonisa

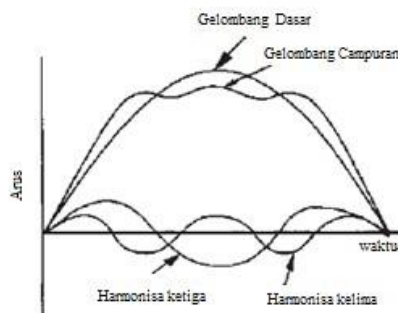
Untuk mengatasi distorsi harmonisa tegangan dan arus yang muncul akibat beban nonlinier pada sistem tenaga listrik diperlukan filter harmonisa agar tidak memberikan dampak negatif berupa kerusakan pada peralatan yang tersambung ke dalam sistem tenaga listrik. Filter harmonisa juga memiliki fungsi lain yaitu untuk meningkatkan faktor daya dengan cara mengkompensasi daya reaktif ke sistem tenaga listrik [19][20].

Masalah Harmonisa pada Belitan Tiga Fasa

Gelombang yang muncul dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar gelombang tersebut merupakan masalah harmonisa pada kumparan tiga fase. Harmonisa orde ketiga, kelima, dan

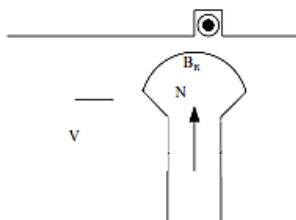
ketujuh memiliki efek yang tidak diinginkan pada generator dan motor. Harmonisa dengan orde kecil memiliki nilai magnitudo yang besar [15].

Generator adalah mesin yang simetris, dengan jumlah kutub utara dan selatan yang genap, menghilangkan semua harmonisa kelipatan genap. Jadi hanya ada harmonisa dengan orde ganjil yang dapat dihasilkan. Gelombang harmonisa merupakan kelipatan gelombang dari frekuensi dasar misalnya 50Hz untuk sistem kelistrikan di Indonesia, sehingga frekuensi harmonisanya adalah 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz begitu juga selanjutnya [13].



Gambar 2. Bentuk gelombang harmonisa

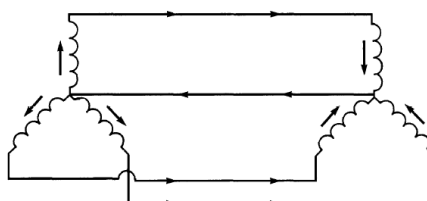
Fluks yang tidak merata pada generator merupakan penyebab dari harmonisa yang muncul. Rotor yang melewati permukaan stator dapat dilihat pada Gambar 3. Akibat dari lebih kecilnya permukaan celah udara bagian tengah rotor dibandingkan dengan bagian sisi dari rotor maka terjadilah harmonisa tersebut. Sehingga di bagian tengah rotor terjadi distribusi fluks yang tidak merata dan juga kerapatan fluksnya juga lebih besar [12].



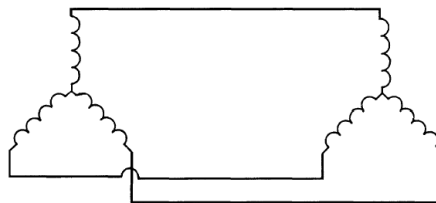
Gambar 3. Rotor ferromagnetik menyapu bagian konduktor stator

Secara umum hubungan tegangan harmonisa dengan urutan harmonisa berbanding terbalik, dimana jika urutan harmonisanya semakin tinggi maka tegangan harmonisa yang muncul semakin rendah. Sehingga untuk urutan harmonisa diatas ke sembilan dapat diabaikan pengaruhnya. Hubungan Y maupun Δ untuk beberapa komponen harmonisa akan hilang sehingga akan menyisakan harmonisa pada orde ketiga yang paling besar [11].

Tidak hanya komponen harmonisa pada orde ketiga saja yang akan muncul akan tetapi kelipatannya seperti orde 9, 27 dan juga yang lainnya. Komponen harmonisa seperti ini diistilahkan dengan komponen *triplen* dimana harmonisa ini selalu terdapat pada mesin sinkron [8].



Gambar 4. Arus harmonisa ketiga mengalir pada belitan hubungan Y yang netralnya tersambung



Gambar 5. Arus harmonisa ketiga tidak mengalir pada belitan hubungan Y yang tidak mempunyai netral



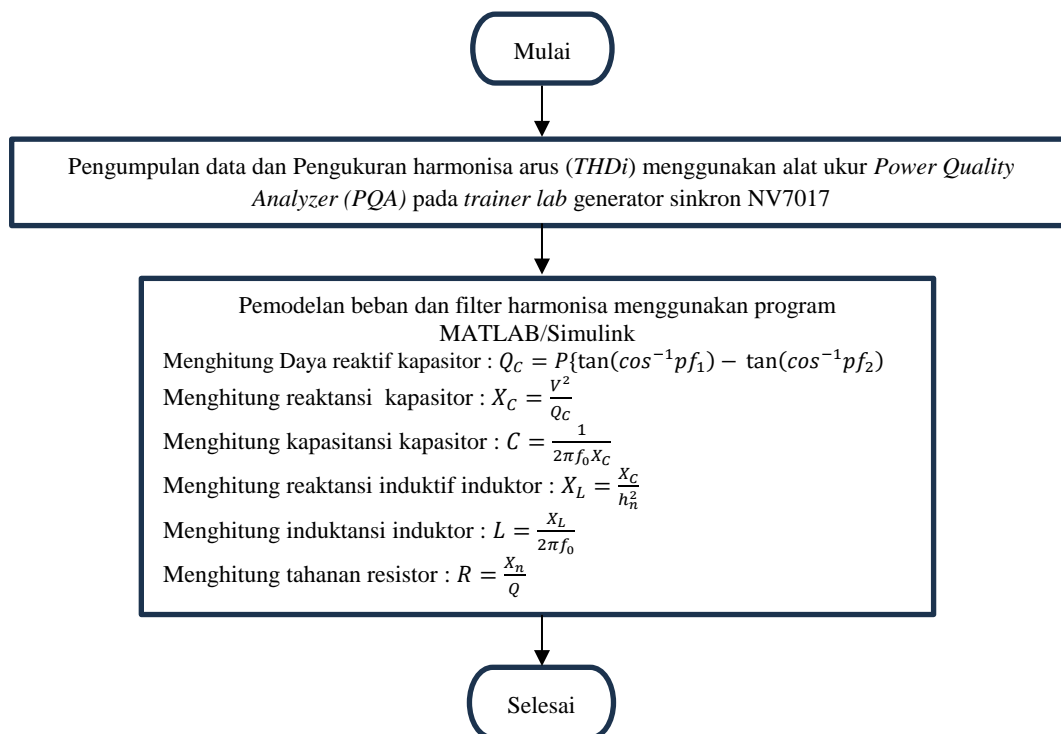
Gambar 6. Arus harmonisa ketiga berputar pada belitan hubungan Δ

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Workshop Teknik Elektro Laboratorium Konversi Energi pada peralatan *Trainer Lab* Generator Sinkron Tiga Fasa NV7017. Pertama sekali yang dilakukan adalah mengambil data total harmonik distorsi arus pada saat *Trainer Lab* Generator Sinkron Tiga Fasa NV7017 dioperasikan lalu diukur menggunakan alat ukur *power quality analyzer fluke 437* untuk memperoleh variabel tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, THD_i dan lain sebagainya. Setelah dilakukan pengukuran langkah selanjutnya adalah membuat pemodelan *single tuned passive filter* dengan menggunakan alat bantu perangkat lunak *MATLAB/Simulink*.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengukuran

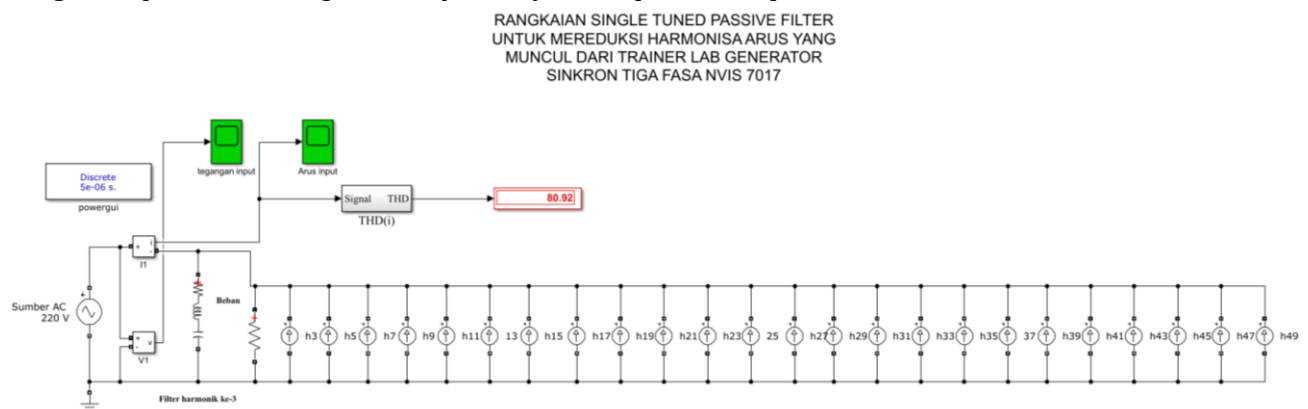
Dari perolehan pengukuran yang dilakukan pada *Trainer Lab* Generator Sinkron Tiga Fasa NVIS 7017 dengan menggunakan alat ukur power quality analyzer 437 diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah ini. Data ini menunjukkan bahwa kandungan harmonisa arus yang disebabkan oleh *Trainer Lab* generator sinkron tiga fasa NVIS 7017 sangat besar.

Tabel 1. Hasil Pengukuran

| No | Elemen | Besaran |
|----|-------------------------------------|---------|
| 1 | Tegangan | 225 V |
| 2 | Arus | 6,2 amp |
| 3 | Daya Aktif | 600 W |
| 4 | Daya Semu | 1490 VA |
| 5 | Daya Reaktif | 460 VAR |
| 6 | Faktor Daya | 0,83 |
| 7 | Frekuensi | 50 Hz |
| 8 | Total Harmonik Distorsi Arus (THDi) | 82,1% |

Hasil Simulasi

Dari data pengukuran yang telah dilakukan diperoleh total distorsi harmonisa arus (THDi) sebesar 82,1% dimana ini telah melebihi dari standar yang telah ditetapkan oleh IEEE 519 – 2014 yaitu sebesar 5%. Setelah dilakukan simulasi dengan memodelkan single tuned passive filter dengan bantuan aplikasi matlab/simulink untuk mereduksi harmonik yang diakibatkan oleh *Trainer Lab* generator sinkron tiga fasa NVIS 7017 diperoleh penurunan harmonisa arus menjadi 80,92%. Untuk gambar rangkaian pemodelan *single tuned passive filter* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pemodelan Single Tuned Passive Filter

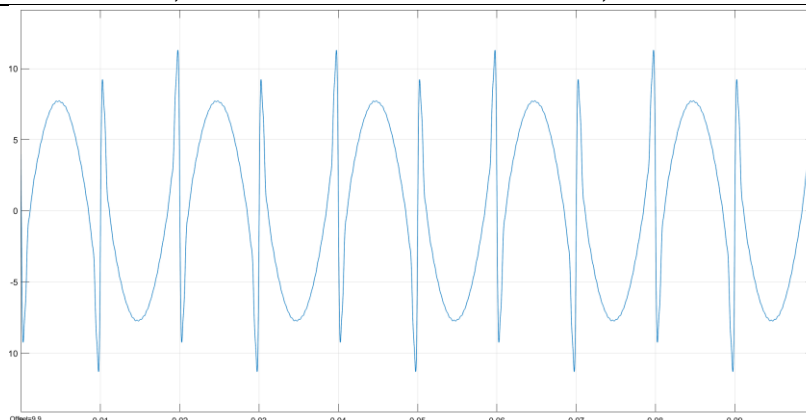
Untuk memperbaiki faktor daya dari 0,83 menjadi 0,95 maka digunakan besaran komponen kapasitor $C = 1.2952E-05$ F, komponen induktor $l = 0.086920522$ H dan komponen resistor $R = 0.819206619$ Ω yang digunakan pada *single tuned passive filter*. Filter ini dirancang untuk mereduksi arus harmonisa pada orde ketiga. Untuk data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2. Untuk bentuk gelombang distorsi arus dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 2. Hasil Penelitian

| Frekuensi Harmonisa | Orde Harmonisa | Harmonisa sebelum di filter | THD _i | Harmonisa setelah di filter | THD _i |
|---------------------|----------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| 150 | 3 | 41,52 | | 40,89 | |
| 250 | 5 | 33,63 | | 33,12 | |
| 350 | 7 | 29,93 | 82,1 | 29,48 | 80,92 |
| 450 | 9 | 27,68 | | 27,26 | |
| 550 | 11 | 24,94 | | 24,56 | |

Tabel 3. Hasil Penelitian (sambungan)

| Frekuensi Harmonisa | Orde Harmonisa | Harmonisa sebelum di filter | THD _i | Harmonisa setelah di filter | THD _i |
|---------------------|----------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| 650 | 13 | 22,21 | | 21,87 | |
| 750 | 15 | 18,99 | | 18,7 | |
| 850 | 17 | 16,09 | | 15,85 | |
| 950 | 19 | 13,19 | | 12,99 | |
| 1050 | 21 | 10,46 | | 10,3 | |
| 1150 | 23 | 8,05 | | 7,92 | |
| 1250 | 25 | 5,95 | | 5,86 | |
| 1350 | 27 | 4,34 | | 4,28 | |
| 1450 | 29 | 3,38 | | 3,33 | |
| 1550 | 31 | 3,06 | 82,1 | 3,01 | 80,92 |
| 1650 | 33 | 3,06 | | 3,01 | |
| 1750 | 35 | 3,22 | | 3,17 | |
| 1850 | 37 | 3,22 | | 3,17 | |
| 1950 | 39 | 3,22 | | 3,17 | |
| 2050 | 41 | 2,9 | | 2,85 | |
| 2150 | 43 | 2,41 | | 2,38 | |
| 2250 | 45 | 2,09 | | 2,06 | |
| 2350 | 47 | 1,61 | | 1,58 | |
| 2450 | 49 | 1,29 | | 1,27 | |



Gambar 9. Bentuk gelombang distorsi arus setelah dipasang *single tuned passive filter*

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh harmonisa yang ditimbulkan oleh *Trainer Lab* generator sinkron tiga fasa NV7017 sangat besar dan sangat bervariasi. Setelah dilakukan pemodelan *single tuned passive filter* dengan bantuan aplikasi *matlab/simulink* diperoleh hasil arus distorsi harmonisa total (THD_i) berhasil berkurang menjadi 80,92% dari kondisi awal 82,1%. Hasil ini masih diatas standar yang diizinkan oleh IEEE 519- 2014 sehingga kedepannya perlu dilakukan penelitian lagi agar dapat mengurangi THD_i dibawah standar IEEE 519 – 2014.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini penulis mengucapkan ribuan terima kasih kepada Universitas Negeri Medan yang telah mendanai penelitian ini dalam skema Penelitian Dasar. Tanpa dukungan dari pihak Universitas Negeri Medan maka sulit rasanya penulis menghasilkan karya ilmiah dalam bentuk artikel ini, dan penulis juga berharap artikel ini juga bermanfaat bagi orang banyak.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. Fallows, S. Nuzzo, and M. Galea, “Analytical modelling of harmonics in an exciterless synchronous generator,” in Proceedings - 2021 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis, WEMDCD 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Apr. 2021, pp. 28–33. doi: 10.1109/WEMDCD51469.2021.9425658.

-
- [2] N. I. Shah Riman, M. F. Abdullah, M. F. Romlie, and Z. Baharudin, "Third Harmonic Current Contribution from Synchronous Generator with Filtering During Ground Fault," 2016.
 - [3] V. V. Bhat and P. Pius, "Third harmonic current minimization using third harmonic blocking transformer," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 25, no. 2, pp. 697–709, Feb. 2022, doi: 10.11591/ijeecs.v25.i2.pp697-709.
 - [4] M. F. Abdullah, N. H. Hamid, Z. Baharudin, M. A. M. Ayob, and M. A. F. M. Hamim, "Characteristic of third harmonic from synchronous generator passing through transformer and rectifier," *PECon 2012 - 2012 IEEE International Conference on Power and Energy*, no. December, pp. 689–694, 2012, doi: 10.1109/PECon.2012.6450303.
 - [5] C. Boonseng and K. Kularbphettong, "Designing Harmonic Filters for Improving Power Factor and Quality of Synchronous Generator in Sugar Mill Plant," 2019.
 - [6] IEEE Industry Applications Society and Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS).
 - [7] Tianjin da xue et al., 2018 China International Conference on Electricity Distribution : proceedings : 17-19 September 2018, Tianjin, China.
 - [8] Institute of Electrical and Electronics Engineers, PEDG 2019 : 2019 IEEE 10th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG) : June 3rd-6th, 2019, Xi'an, China.
 - [9] H. A. Rahman, N. I. Shah Riman, M. F. Abdullah, H. Sakidin, M. F. Romlie, and N. M. Nor, "Neutral Earthing Reactance Design in Mitigating Third Harmonic Current at the Generator Neutral," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, Nov. 2018. doi: 10.1051/mateconf/201822504021.
 - [10] IEEE Industry Applications Society and Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS).
 - [11] C. Chakraborty, S. Basak, and Y. T. Rao, "Synchronous Generator With Embedded Brushless Synchronous Exciter," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 43, no. 3, pp. 1242–1254, Sep. 2019, doi: 10.1109/TEC.2019.2900341.
 - [12] IEEE Power & Energy Society, IEEE Industry Applications Society, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica : 28-29 June 2018.
 - [13] S. M. Toufighian, J. Faiz, and A. Erfani-Nik, "Static Eccentricity Fault Detection in Salient and Non-Salient Synchronous Generators Using Harmonic Components," in *2021 12th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference, PEDSTC 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2021. doi: 10.1109/PEDSTC52094.2021.9405971.
 - [14] R. C. Dugan, S. Santoso, M. F. McGranaghan, and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, Second Edition. 2004.
 - [15] P. IEEE Industrial Electronics Society. Conference (45th : 2019 : Lisbon, Universidade Nova de Lisboa, Institute of Electrical and Electronics Engineers, and IEEE Industrial Electronics Society, Proceedings, IECON 2019-45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society : Convention Center, Lisbon, Portugal, 14-17 October, 2019.
 - [16] V. Bogdan, M. Adrian, N. Ionut, P. Adrian-Cosmin, and D. Mihai-Catalin, "Comparative Analysis of Two Permanent Magnet Fractional Slots Synchronous Generators with Different Number of Phases 15 slots /16 magnets three-phase generator to 15 slots/18 magnets five-phase generator : 15 slots /16 magnets three-phase generator to 15 slots/18 magnets five-phase generator," in *EPE 2020 - Proceedings of the 2020 11th International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2020, pp. 525–529. doi: 10.1109/EPE50722.2020.9305537.
 - [17] P. Kandasamy, K. Chandrasekaran, R. Natarajan, and J. Selvaraj, "Deep CNN-LSTM-Based DSTATCOM for Power Quality Enhancement in Microgrid," *J. Circuits Syst. Comput.*, vol. 31, pp. 2250130:1-2250130:38, 2022, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:246807414>
 - [18] D. Selkirk, M. Savostianik, and K. Crawford, "Why neutral-grounding resistors need continuous monitoring," in *2008 55th IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference*, 2008, pp. 1–7. doi: 10.1109/PCICON.2008.4663977.
 - [19] G. J. Wakileh, *Power Systems Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design*. in *Power Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 2010. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=wYwPkgAACAAJ>
 - [20] A. R. Lubis, M. Affandi, and D. A. Sutopo, "Peningkatan Kualitas Kelistrikan Workshop Teknik Elektro Unimed Menggunakan Double Tuned Filter," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)* vol. 9, no. 1, 2023, doi: 10.24036/jtev.v9i1.121285.
-