

Studi Peningkatan Kualitas Daya Sistem Distribusi Tenaga Listrik Di Daerah Terdepan, Tertinggal Dan Terluar Dengan Menggunakan Konfigurasi Transformator Delta-Wye

Nana Heryana^{1✉}, Atmonobudi Soebagio², Qamaruzzaman³

¹ Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

^{2,3} Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 29-04-2024

Direvisi : 06-05-2024

Diterima : 09-05-2024

Kata Kunci:

Arus urutan simetris, daerah 3T, kualitas daya, PSIM, THD, transformator delta-wye

Keywords :

Symmetrical sequence current, 3T area, power quality, PSIM, THD, delta-wye transformer

ABSTRAK

Sistem distribusi tenaga listrik di daerah Terdepan, Tertinggal, dan Terluar (3T) sulit dijangkau oleh sistem transmisi, dan menggunakan sistem tiga-fasa empat-kawat tegangan rendah (380/220 volt). *Generator* atau pembangkit listrik di daerah tersebut sering terhubung langsung dengan beban tanpa adanya transformator yang menyebabkan *Total Harmonic Distortion* (THD) tinggi dan mempengaruhi kualitas daya listrik. Tujuan studi ini adalah untuk memanfaatkan transformator delta-wye yang dipasang dekat beban untuk meningkatkan kualitas daya listrik. Studi dilakukan di Pulau Sebira yang merupakan salah satu wilayah 3T di Propinsi DKI Jakarta. Hasil studi memperlihatkan bahwa sistem distribusi kelistrikan terbebas dari arus urutan-nol, harmonic ketiga dan kelipatannya. Konfigurasi yang dirancang sederhana dan mudah diimplementasikan, dan karena itu dapat direkomendasikan sebagai acuan standar sistem distribusi kelistrikan di wilayah 3T di Indonesia.

ABSTRACT

The electricity distribution system in the Frontier, Disadvantaged and Outermost (3T) areas is difficult to reach by the transmission system, and uses a low voltage three-phase four-wire system (380/220 volts). Generators or power plants in these areas are often connected directly to the load without a transformer, which causes high Total Harmonic Distortion (THD) and affects the quality of electrical power. The aim of this study is to utilize a delta-wye transformer installed near the load to improve the quality of electrical power. The study was conducted on Sebira Island, which is one of the 3T areas in DKI Jakarta Province. The study results show that the electricity distribution system is free from zero-sequence currents, third harmonics and their multiples. The designed configuration is simple and easy to implement, and therefore can be recommended as a standard reference for electricity distribution systems in the 3T region in Indonesia.

Corresponding Author :

Nana Heryana

Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

Jl. Diponegoro 84-86, Jakarta 10430

Email: nana.heryana@yahoo.com

PENDAHULUAN

Dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2019-2038, disebutkan target rasio elektrifikasi sekitar 99,9% di tahun 2019 dan sekitar 100% di tahun 2020 dengan bauran Energi Baru dan Terbarukan (EBT) Nasional minimum 23% pada tahun 2025 [3]. Untuk mencapai bauran EBT Nasional tersebut maka bauran energi yang optimal di daerah Terdepan, Tertinggal dan Terluar (3T), yaitu daerah yang tidak memungkinkan secara teknis maupun ekonomis untuk dijangkau dengan sistem transmisi, perlu 100% menggunakan EBT.

Dari berbagai EBT, potensi energi surya di Indonesia yang memiliki iklim tropis memiliki potensi energi surya yang melimpah, yaitu sebesar 4,80 kWh/m²/hari, sehingga di daerah 3T penyediaan energi listrik dengan Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS), sering menjadi pilihan utama. Tetapi ada fakta yang menunjukkan bahwa kontinuitas pasokan listrik di daerah 3T, tidak dapat hanya bergantung kepada PLTS. Banyak PLTS mangkrak dan tidak berfungsi karena kerusakan baterai, charge controller, inverter dan sumber daya pengelola kurang siap dengan teknologinya, seperti dalam laporan hasil asesmen sistem kelistrikan di Pulau Sebira yang dijadikan studi kasus dalam studi ini. Solusi untuk menjaga kontinuitas pasokan daya listrik di daerah 3T adalah mengembangkan pembangkit hibrida PLTD yang telah ada dengan PLTS on grid atau off grid.

Hasil survei menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan oleh pusat listrik di daerah 3T mempunyai tegangan kerja sama dengan tegangan kerja beban 380/220 volt, sehingga pembangkit dapat terhubung langsung ke pusat beban tanpa menggunakan transformator. Pada kondisi pembebanan linier dan seimbang, konfigurasi ini mungkin layak digunakan, tetapi karena beban terpasang di hampir semua rumah tinggal merupakan beban non linier, seperti lampu swabalas, televisi dan beban berbasis teknologi elektronika dan hampir sulit seimbang, maka arus beban akan mengandung harmonik dan arus urutan positif, negatif dan nol. Hal ini akan menyebabkan Total Harmonic Distortion (THD) tinggi sehingga kualitas daya bernilai rendah. Kelemahan lainnya yaitu pusat listrik tidak terisolasi secara galvanis, sehingga jika terjadi gangguan pada sisi beban dapat dirasakan langsung oleh pusat pembangkit listrik.

Permasalahan kualitas daya mengacu pada kasus yang menyebabkan kerusakan atau kegagalan peralatan pada sistem ketenagalistrikan. Secara umum, masalah kualitas daya dibagi menjadi masalah kualitas tegangan dan masalah kualitas arus. Biasanya, operator sistem tenaga harus bertanggung jawab atas masalah kualitas tegangan, karena masalah tegangan terkait dengan tegangan yang disuplai oleh jaringan. Sebaliknya, masalah kualitas arus umumnya disebabkan oleh beban. Namun, masalah kualitas tegangan dan masalah kualitas arus saling mempengaruhi [1].

Berdasarkan paparan di atas, maka suatu usaha untuk melakukan studi dan memberikan usulan untuk memperbaiki kualitas daya pada sistem distribusi tenaga listrik dengan memanfaatkan konfigurasi transformator *delta-wye* telah dilakukan. Studi ini, merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dan akan menjawab permasalahan kualitas pada sistem distribusi tenaga listrik khususnya di daerah 3T dengan mengusulkan penggunaan konfigurasi transformator *delta-wye* yang sederhana dan mudah untuk diaplikasikan.

METODE PENELITIAN

Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait kualitas daya dan permasalahan harmonik dalam sistem ketenagalistrikan yang telah dilakukan sebelumnya, misalnya analisis pengaruh arus urutan-nol pada kinerja generator [11], identifikasi parameter generator yang sinkron dengan beban penyearah [12], penggunaan transformator Zigzag untuk mereduksi harmonik dalam sistem ketenagalistrikan [5][6][9], dampak teknis-ekonomis dan penerapan regulasi harmonik pada sistem distribusi [10], optimalisasi pembangkit hibrida PLTS dan PLTD pada sistem pendistribusian energi listrik Pulau Sebira yang merupakan salah satu daerah 3T [7], pengurangan THD pada penyearah tiga-fasa dengan Transformator *delta-wye* [4], dampak harmonik tinggi pada

beban lampu swabalast yang merupakan beban non linier yang umumnya digunakan di wilayah 3T, yang dapat menurunkan kualitas daya sistem tenaga listrik [2].

Tahapan-tahapan dalam studi ini mencakup: studi literatur, studi sistem *existing* di daerah 3T (Pulau Sebira), analisis konfigurasi existing, pengusulan konfigurasi baru, simulasi dengan perangkat lunak, eksperimen di laboratorium, analisis hasil penelitian, dan terakhir adalah kesimpulan dan rekomendasi.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Penelitian Konversi Energi Elektrik (LPKEE), Sekolah Teknik Elektro dan Informatika (STEI), Institut Teknologi Bandung (ITB). Di Laboratorium ini simulasi dan eksperimen yang sesungguhnya dilakukan untuk menunjukkan validitas dari konsep yang diusulkan.

Pada studi ini, mesin listrik yang dijadikan obyek penelitian berupa mesin sinkron 5 kW yang dioperasikan sebagai generator dengan penggerak sebuah motor arus serah 6,2 kW untuk merepresentasikan sebuah generator dalam sistem pembangkit tenaga listrik. Mesin-mesin listrik tersebut seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



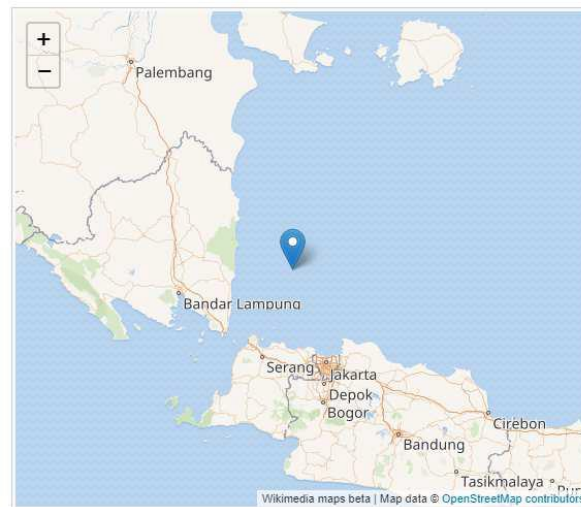
Gambar 1. Generator sinkron untuk studi.

Tempat studi kasus adalah salah satu pulau yang merupakan daerah Terdepan, Tertinggal dan Terluar (3T), yaitu Pulau Sebira, sebuah pulau di wilayah Kepulauan Seribu, Provinsi Daerah Khusus Ibu Kota (DKI) Jakarta, dengan koordinat $106^{\circ} 27.469' \text{ LU}$, $5^{\circ} 12.266' \text{ LS}$, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Pulau ini dihuni oleh sekira 155 KK dengan jumlah penduduk sekira 600 Jiwa, merupakan pulau terjauh di bagian paling utara di kepulauan seribu, letaknya yang jauh ini membuat banyak keterbatasan yang harus dihadapi oleh penduduk setempat, salah satunya adalah permasalahan dalam sistem penyediaan energi listrik.

Dalam sistem penyediaan energi listrik, ada beberapa permasalahan antara lain Pulau Sebira tidak terjangkau oleh program kabel laut dari pemerintahan provinsi DKI karena jaraknya yang terlalu jauh dengan Jaringan PLN DKI, sehingga perlu mempunyai pembangkit listrik mandiri dan pemeliharaan peralatan kelistrikan apabila terjadi gangguan, memerlukan waktu perbaikan yang lama karena jarak yang jauh tersebut dan tidak tersedianya suku cadang dan sumber daya manusia yang dapat menangani gangguan dengan segera.

Dalam studi ini, data-data penelitian diperoleh berdasarkan hasil studi dan studi tipikal ke sampel lokasi pada beberapa tahun sebelumnya, hasil simulasi menggunakan software dan hasil eksperimen yang sesungguhnya dilakukan di Laboratorium. Khusus data tipikal terkait konfigurasi penyediaan dan pendistribusian energi listrik dan data pengukuran kelistrikan tipikal, walaupun tidak diambil pada tahun 2020-2021, karena masa pandemi dan keterbatasan lainnya yang tidak dapat melakukan kunjungan ke lokasi sampel, tetapi dengan menggunakan data beberapa tahun sebelumnya, tidak akan mempengaruhi hasil analisis, karena konfigurasinya tetap yang berbeda hanya kapasitas PLTS dan pola operasinya saja. Untuk melengkapi data tersebut, dalam studi ini dilakukan pencarian data sekunder melalui website pemerintahan provinsi DKI

Jakarta <https://jakarta.go.id/> maupun sumber-sumber lainnya yang berhubungan dengan studi ini.



Gambar 2. Lokasi Pulau Sebra

Studi ke lokasi daerah 3T untuk melakukan pengamatan sistem penyediaan dan konfigurasi pendistribusian energi listriknya dan melakukan pengukuran kelistrikan dilakukan untuk mengetahui kondisi sesungguhnya sistem penyediaan dan pendistribusian energi listriknya. Dalam melakukan studi dan pengukuran beberapa instrumen yang diperlukan antara lain: (1) Power Quality Analyzer untuk melakukan pengukuran kualitas daya kelistrikan dan mengetahui kualitas daya; dan (2) Multimeter, clamp on meter, kamera dan peralatan pendukung lainnya.

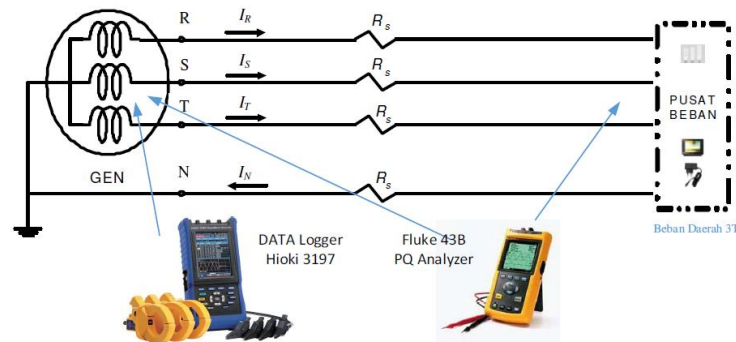
Data yang diperoleh hasil pengamatan studi di lokasi sampel selanjutnya disimulasikan menggunakan software PSIM®. Pada dasarnya PSIM® adalah paket perangkat lunak untuk melakukan simulasi sirkuit elektronik, yang dirancang khusus untuk digunakan dalam elektronika daya dan simulasi penggerak motor tetapi dapat digunakan untuk mensimulasikan rangkaian listrik juga. Mengingat beban terpasang perumahan umumnya merupakan peralatan elektronika daya, maka pemilihan software PSIM® dapat dipertanggungjawabkan. Software ini menyediakan antarmuka penangkapan skema dan penampil bentuk gelombang Simview. PSIM® memiliki beberapa modul yang memperluas fungsinya ke dalam area khusus simulasi dan desain sirkuit termasuk: teori kontrol, motor listrik, generator pembangkit berputar, PLTS, Turbin dan perangkat lainnya. PSIM® digunakan oleh industri untuk penelitian dan pengembangan produk dan digunakan oleh lembaga pendidikan untuk penelitian dan pengajaran.

Guna memvalidasi hasil studi dan pengukuran di lokasi sampel 3T, hasil simulasi dan analisisnya maka dilakukan eksperimen di laboratorium pada skala terbatas disesuaikan dengan kondisi peralatan yang tersedia. Komponen utama yang digunakan untuk eksperimen adalah: (1) Generator Sinkron yang di kopling dengan Motor DC untuk merepresentasikan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel yang terpasang; (2) Beban penyearah dengan filter kapasitor yang merepresentasikan beban perumahan berbasis elektronik, seperti lampu swabalast, baterai charger, Komputer dan beban lainnya; (3) Transformator isolasi hubungan *delta-wye* 380/220 yang disisipkan antara PLTD dan pusat beban dalam sistem pendistribusian energi listrik tegangan rendah.

Metode analisis yang dilakukan dalam studi ini dengan melakukan pengembangan dari tiga model analisis, yaitu analisis menggunakan persamaan konvensional, menggunakan komponen simetris dan analisis menggunakan persamaan harmonik pada kondisi beban non liner. Dari beberapa kondisi sistem yang banyak mengandung harmonik dengan THD tinggi, maka klasifikasi orde harmonik tersebut ditransformasikan menjadi arus urutan simetris seperti pada sistem tiga fasa tidak seimbang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan studi dengan serangkaian pengukuran di Pulau Sebira sebagai sampel dari lokasi daerah 3T. Skema rangkaian pengukuran sistem distribusi kelistrikan tiga-fasa empat-kawat ditunjukkan dalam Gambar 3. Tampak dalam gambar alat ukur utama yang digunakan adalah Hioki 3197 Power Quality Analyzer yang difungsikan sebagai data logger untuk mengetahui komsumsi daya harian dan Fluke 43B Single-Phase Power Quality Analyzer yang difungsikan untuk mengukur kualitas daya dan harmonik sesaat pada jaringan sistem ketenagalistrikan.



Gambar 3. Skema pengukuran kelistrikan di Pulau Sebira.

Hasil pengamatan konsumsi daya listrik di Pulau Sebira menunjukkan kebutuhan energi 455,23 kWh per-hari dengan nilai *demand* maksimum 52 kW dan *demand* rata-rata 33,7 kW. Kebutuhan energi tersebut dianggap kebutuhan energi minimum dari sumber PLTD jika dioperasikan selama 14 jam per hari (saat pengambilan sampel). Dengan hasil pengukuran tersebut maka dapat dihitung kebutuhan energi listrik total per-hari selama 24 jam yaitu sekitar 800 kWh.

Pengukuran kualitas daya pada jaringan distribusi kelistrikan Pulau Sebira dilakukan untuk mengetahui parameter harmonik tegangan dan arus, ketidakseimbangan tegangan dan arus, faktor daya dan kesetabilan tegangan dan frekuensi sistem kelistrikannya. Hasil pengukuran kualitas daya ditunjukkan dalam Tabel 1. Dalam tabel tegangan antar fasa seimbang, tetapi mempunyai THD diatas 3% dan ada regulasi sekitar 10% dibandingkan dengan tegangan standar 220 V. Dari data arus fasa, diperoleh ketidakseimbangan arus sekira 11% , dengan faktor daya diatas 0,9 dan THD sekitar 20%, sedangkan arus netral tinggi, hampir sama dengan arus fasa dengan THD lebih dari 90%.

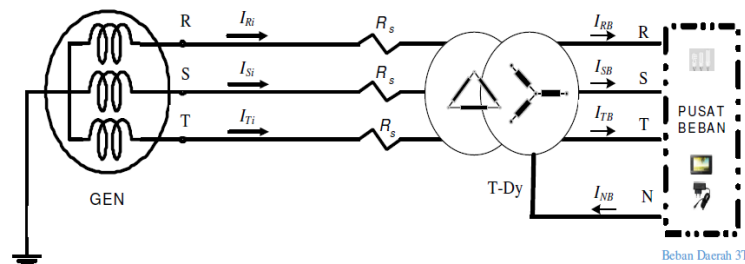
Tabel 1. Pengukuran Kualitas Daya di Pulau Sebira

No	Titik ukur	Parameter Pengukuran					
		V_RMS	THD_V	I_RMS	THD_I	Daya	
		Volt	%	Amp	%	kW	PF
1	Fasa R	201,7	3,2	42,4	24,1	8,1	0,94
2	Fasa S	201,6	3,4	49,7	23,4	9,2	0,92
3	Fasa T	201,4	3,5	50,8	18,6	9,5	0,92
4	Netral	-	-	35,6	94,5	-	-

Selain permasalahan THD arus netral yang tinggi, beberapa temuan lain yang diperoleh dari pengukuran adalah: (1) semua gelombang arus fasa mempunyai bentuk non-sinusoidal; (2) semua spektrum arus fasa mempunyai spektrum harmonik diluar fundamentalnya dan harmonik tertinggi orde 3 dan harmonik orde ganjil lainnya; (3) rentang variasi tegangan rata-rata antara 198 - 208 volt (nilai ini terlalu rendah karena terukur disisi pembangkit); (4) terjadi susut daya tambahan pada sistem akibat rugi-rugi arus urutan nol; dan (5) hasil pengamatan dan diskusi dengan pengelola PLTD mengindikasikan sering terjadinya kerusakan AVR.

Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan di atas, dalam studi ini diusulkan konfigurasi distribusi energi listrik tiga-fasa tegangan rendah dengan menggunakan transformator isolasi

hubungan *delta-wye* (T-DY) seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Tampak dalam gambar generator dihubungkan dengan sisi Delta Transformator T-DY dengan tiga-kawat, sedangkan kawat netralnya tidak terhubung dengan beban. Sedangkan sisi bintang (y) transformator dihubungkan ke pusat beban dengan sistem tiga-fasa empat-kawat.



Gambar 4. Konfigurasi tiga-fasa empat kawat dengan Transformator *delta-wye*.

Pada konfigurasi baru ini telah dilakukan beberapa analisis seperti : analisis arus urutan simetris, analisis susut daya, dan analisis gangguan pada sistem tersebut.

Studi dilanjutkan dengan melakukan simulasi dengan PSIM® dan melakukan eksperimen di laboratorium. Dalam simulasi, diamati bentuk gelombang tegangan, arus fasa beban, arus netral beban dan arus fasa sumber. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa dengan menggunakan konfigurasi yang diusulkan terjadi perbaikan kualitas daya pada sistem distribusi tenaga listrik.

Hasil eksperimen dengan menggunakan sistem yang diusulkan ditunjukkan dalam Tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan perbandingan parameter kualitas daya pada sisi beban dan sisi sumber. Sisi beban merepresentasikan kondisi sistem eksisting, sedangkan sisi sumber merepresentasikan kondisi setelah mengimplementasikan sistem distribusi tenaga listrik dengan konfigurasi Transformator *delta-wye* seperti yang diusulkan dalam studi ini.

Tabel 2. Kualitas Daya hasil eksperimen

	Sisi Beban				Sisi Sumber			
	V _{RMS}	I _{RMS}	THD-I	PF	V _{RMS}	I _{RMS}	THD-I	PF
	volt	amp.	%		volt	amp.	%	
Fasa R	225,6	5,68	54,0	0,82	214,4	4,82	18,2	0,91
Fasa S	230,1	5,79	56,0	0,81	221,8	5,00	17,9	0,91
Fasa T	225,5	5,56	55,2	0,81	225,3	5,04	18,9	0,92
Netral		8,92	100					
Daya	1,757 kW				1,807 kW			

Hasil eksperimen menunjukkan, dengan arus fasa beban yang hampir seimbang masing-masing sekira 5,6 ampere, menghasilkan arus netral yang sangat tinggi sekira 1,6 kali lebih tinggi dari arus fasa beban. Hal ini disebabkan semua arus fasa merupakan beban non linier, memiliki THD yang tinggi dan mengandung harmonik ketiga serta kelipatannya cukup tinggi, sehingga arus netral yang merupakan jalur balik dari arus urutan nol dari ketiga fasanya akan mempunyai nilai yang tinggi, dengan THD yang 100%.

Pada sisi sumber terjadi perbaikan kualitas daya, THD arus sumber turun menjadi sekira 18% jauh lebih kecil dibandingkan dengan arus beban. Hal ini disebabkan pada sisi sumber hanya mengalir arus harmonik urutan positif dan negatif saja, sedangkan harmonik ketiga dan kelipatannya yang merupakan arus urutan nol disirkulasikan dalam internal belitan Delta Transformator delta-wye. Keuntungan lain dengan menggunakan konfigurasi yang diusulkan dalam studi ini, faktor dayanya meningkat. Awalnya pada sisi beban sekira 0,8 pada sisi sumber menjadi naik sekira 0,9. Peningkatan faktor daya ini terjadi karena penurunan harmonik, yang mana *True Power Factor* (PF) merupakan perbandingan arus fundamental (I_1) dibagi nilai arus rms

(I) dikalikan dengan *Displacement Power Factor* (DPF). DPF sering disebut $\cos \varphi$, merupakan cosinus perbedaan sudut fundamental arus dan tegangan.

Dengan menggunakan Transformator delta-wye, tentu akan ada susut daya tambahan pada transformator yang digunakan tetapi dengan teknologi bahan saat ini banyak tersedia transformator dengan efisiensi sangat tinggi. Hasil eksperimen menunjukkan dengan membandingkan daya terukur pada sisi beban terhadap sisi sumber diperoleh efisiensi Transformator sekira 97%.

Setelah dilakukan analisis hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan dapat meningkatkan kualitas daya pada sistem distribusi tenaga listrik, antara lain bentuk arus lebih sinusoidal, pada arus sumber tidak mengandung harmonik ketiga dan kelipatannya yang merupakan arus urutan nol, THD menjadi lebih baik, faktor daya meningkat. Dengan hasil tersebut maka sistem yang diusulkan mampu meningkatkan kualitas daya pada sistem distribusi tenaga listrik di daerah 3T.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil studi peningkatan kualitas daya sistem distribusi tenaga listrik dengan menggunakan konfigurasi transformator *delta-wye* di Pulau Sebira sebagai salah satu wilayah 3T di Indonesia, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Studi kasus dilaksanakan dengan melakukan survei dan pengukuran pada sistem distribusi tenaga listrik di Pulau Sebira, salah satu wilayah 3T di Provinsi DKI Jakarta. Selain itu, simulasi dengan software PSIM® dan eksperimen di laboratorium kelistrikan dilakukan untuk memastikan validitas dari konsep yang diusulkan.
2. Hasil studi kasus, simulasi, eksperimen, dan analisis menunjukkan bahwa dengan menggunakan konfigurasi transformator *delta-wye* yang diusulkan, sistem distribusi bebas dari komponen arus urutan-nol, harmonik ketiga dan kelipatannya. Akibatnya, ini mengarah pada pengurangan THD, peningkatan faktor daya, dan peningkatan kualitas daya secara keseluruhan dalam sistem distribusi tenaga listrik di Wilayah 3T.
3. Konfigurasi yang diusulkan sederhana dan mudah diimplementasikan, oleh karena itu dapat direkomendasikan menjadi konfigurasi standar untuk sistem distribusi tenaga listrik di wilayah 3T di Indonesia.

Saran untuk penelitian lanjutan yang dapat dikembangkan oleh para peneliti maupun praktisi ketenagalistrikan antara lain:

1. Mengimplementasikan konfigurasi yang diusulkan pada tempat yang sesungguhnya di daerah 3T.
2. Melakukan kajian pengaruh konfigurasi yang diusulkan pada komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

REFERENSI

1. Jingyang Fang, "More-Electronics Power Systems: Power Quality and Stability", Springer Nature, ISSN 1612-1287, ISBN 978-981-15-8589-0, Singapore Pte Ltd. 2021
2. Nana Heryana, Handoko Rusiana Iskandar, Bambang Widodo, Robinson Purba, "Compact Fluorescence Lamp Based on Power Electronics Technology: Its Advantages and Disadvantages", JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), p-ISSN 2548-737X, e-ISSN 2548-8678, 2019
3. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 sampai dengan 2038", Kepmen ESDM, No 143 K/20/MEM/2019.
4. V. Muthukumarasamy, S. Logeshwaran, M. Baveethran, "Delta – Wye Transformer Based Triplen Harmonic Trap for Three Phase Rectifier to Mitigate THD using PSCAD",

- International Conference on Electrical, Instrumentation and Communication Engineering (ICEICE), 2017.
5. K. Karthi, R. Radhakrishnan, J.M. Baskaran, 4Louis Sam Titus, "Role of ZigZag Transformer on Neutral Current Reduction in Three Phase Four Wire Power Distribution System", International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT), 2017
 6. A.N Arvindan, Sanal C, "Investigation for Harmonic Mitigation in the Line and Neutral Currents of Three-Phase Four-Wire System Feeding Two-Pulse Rectifiers with Balanced and Unbalanced using Zig-Zag Transformer", 978-1-4799-3739-4/14, IEEE, 2014
 7. A. Purwadi, Y. Haroen, M. Zamroni, dan N. Heryana, "Study of Hybrid PVDiesel Power Generation System at Sebira Island-Kepulauan Seribu", Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE) Int. Conf., pp. 1-7, Jul. 2012.
 8. Chapman, Stephen J, "Electrical Machinery Fundamental", McGraw-Hill Companies, Inc., ISBN 97 8-0-07-35295, 2012
 9. S.Ranjith Kumar, S.Surendhar, Ashish Negi and P.Raja," Zig Zag Transformer performance analysis on harmonic reduction in distribution load" International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering, 978-1-61284-230-1/11, IEEE, 2011
 10. Agus Purwadi, Nana Heryana, Anang Mawardi dan Tim, "Kajian Dampak Teknis-Ekonomis dan Penerapan Regulasi Harmonik pada Sistem Distribusi", Laporan Penelitian, ITB dan PLN Litbang No. 22.LIT.2011.
 11. Nana Heryana, Pekik Argo Dahono, "Analisis Pengaruh Arus Urutan Nol pada Kinerja Generator", Prosiding Seminar Nasional Teknik Tenaga Listrik (SENATRIK). ISBN: 979-99069-0-3, 2004
 12. Qamaruzzaman, "Identifikasi Parameter Generator Sinkron yang Dibebani Dengan Penyearah", Prosiding Seminar Nasional Teknik Tenaga Listrik (SENATRIK). ISBN: 979-99069-0-3, 2004