

Pengaruh Pengaturan Variable Speed Drive terhadap Frekuensi dan Gelombang Generator Satu Fasa

¹Ana Nuril Achadiyah, ²Mokh. Suseno Aji Sari, ³Khalil Lukif,
^{1,2,3} Program Studi D3 Teknik Listrik, Politeknik Unisma Malang, Malang
ananuril@polisma.ac.id, seno@polisma.ac.id, khalillukif8@gmail.com

Abstract— Variable Speed Drives (VSDs) are widely used for controlling induction motor speed due to their ability to improve operational flexibility and energy efficiency. However, experimental studies investigating the effect of VSD settings on the output frequency and waveform characteristics of single-phase synchronous generators remain limited. This study aims to analyze the influence of VSD speed settings on the output frequency and waveform characteristics of a single-phase synchronous generator driven by a three-phase induction motor. The experimental setup consisted of a 3 kW KAVEA A.C. synchronous generator, a 0.75 kW three-phase induction motor, and an Altivar 320 VSD. Tests were conducted at three VSD settings, namely 25%, 30%, and 50%. The generator output frequency was measured using a digital multimeter and verified through theoretical calculations based on the waveform period obtained from a digital oscilloscope, while waveform characteristics were analyzed directly from the oscilloscope display. The results show that increasing the VSD setting increased the generator output frequency from 25.44 Hz and 31.311 Hz to 50 Hz, corresponding to an increase in rotor speed from 763.2 rpm to 1500 rpm, while the output voltage remained stable at 220 V. The differences between the measured and calculated frequencies were 1.76%, 9.50%, and 0.00%, respectively. This study provides experimental evidence of the relationship between VSD settings, motor speed, generator output frequency, and waveform characteristics, offering a practical reference for small-scale power generation systems and electrical energy conversion laboratories.

Keywords— Variable Speed Drive; single-phase synchronous generator; output frequency; waveform characteristics.

Abstrak— Variable Speed Drive (VSD) banyak digunakan sebagai pengendali kecepatan motor induksi karena mampu meningkatkan fleksibilitas operasi dan efisiensi sistem. Namun, kajian eksperimental mengenai pengaruh pengaturan VSD terhadap frekuensi keluaran dan karakteristik gelombang generator sinkron satu fasa masih relatif terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi pengaturan VSD terhadap frekuensi keluaran dan bentuk gelombang generator sinkron satu fasa yang digerakkan oleh motor induksi tiga fasa. Pengujian dilakukan menggunakan generator sinkron KAVEA berkapasitas 3 kW, motor induksi tiga fasa 0,75 kW, dan VSD Altivar 320 dengan tiga variasi pengaturan, yaitu 25%, 30%, dan 50%. Frekuensi keluaran diukur menggunakan multimeter digital dan diverifikasi melalui perhitungan berdasarkan periode gelombang yang diperoleh dari osiloskop, sedangkan bentuk gelombang diamati secara langsung menggunakan osiloskop digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan pengaturan VSD meningkatkan frekuensi keluaran generator dari 25,44 Hz, 31,311 Hz, hingga 50 Hz, seiring dengan kenaikan putaran rotor dari 763,2 rpm menjadi 1500 rpm, sementara tegangan keluaran tetap stabil pada 220 V. Selisih antara frekuensi hasil pengukuran dan hasil perhitungan berturut-turut sebesar 1,76%, 9,50%, dan 0,00%. Kontribusi penelitian ini terletak pada pembuktian eksperimental hubungan antara pengaturan VSD, kecepatan putar motor, frekuensi keluaran, dan karakteristik gelombang generator dalam satu sistem pengujian terintegrasi, sehingga dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem pembangkit skala kecil dan media pembelajaran konversi energi listrik.

Kata kunci— Variable Speed Drive; generator sinkron satu fasa; frekuensi keluaran; karakteristik gelombang.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronika daya telah mendorong pemanfaatan *Variable Speed Drive* (VSD) secara luas sebagai perangkat pengendali kecepatan motor induksi pada berbagai aplikasi industri maupun laboratorium. VSD bekerja dengan mengubah frekuensi dan tegangan suplai yang diberikan kepada motor sehingga kecepatan putar dapat diatur sesuai kebutuhan proses. Pengendalian berbasis frekuensi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi dan fleksibilitas operasi motor, tetapi juga memengaruhi karakteristik listrik pada generator yang digerakkan, terutama frekuensi keluaran dan bentuk gelombang tegangan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai hubungan antara pengaturan VSD dan karakteristik keluaran generator menjadi penting untuk menjamin keandalan sistem kelistrikan serta kualitas daya yang dihasilkan[1][2].

Generator sinkron satu fasa merupakan salah satu sumber energi listrik yang banyak digunakan pada sistem pembangkit skala kecil, laboratorium, maupun aplikasi pendidikan karena mampu menghasilkan tegangan AC dengan karakteristik yang relatif stabil. Salah satu parameter utama yang menentukan kualitas keluaran generator adalah frekuensi, karena sebagian besar peralatan listrik dirancang untuk beroperasi pada frekuensi nominal 50 Hz. Perubahan kecepatan putar rotor akibat variasi frekuensi keluaran VSD akan berpengaruh langsung terhadap frekuensi listrik yang dibangkitkan sesuai prinsip kerja generator sinkron. Selain itu, perubahan kecepatan juga berpotensi memengaruhi karakteristik bentuk gelombang tegangan yang dihasilkan sehingga perlu dilakukan evaluasi secara eksperimental menggunakan instrumen pengukuran yang memadai[3].

Meskipun penggunaan VSD pada motor induksi telah banyak diteliti, sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada peningkatan efisiensi energi, pengaturan kecepatan motor, konsumsi daya, maupun analisis harmonisa pada sisi motor[4]. Kajian yang secara khusus menganalisis pengaruh variasi pengaturan VSD terhadap frekuensi keluaran dan karakteristik bentuk gelombang generator sinkron satu fasa masih relatif terbatas. Selain itu, penelitian eksperimental yang mengombinasikan pengukuran frekuensi menggunakan multimeter digital dengan analisis bentuk gelombang melalui osiloskop untuk memvalidasi hasil pengukuran juga belum banyak dilaporkan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya *research gap* yang perlu diisi melalui penelitian eksperimental yang lebih komprehensif[5].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa VSD mampu mengatur kecepatan motor induksi secara efektif melalui perubahan frekuensi suplai sehingga meningkatkan efisiensi operasi dan fleksibilitas sistem penggerak. Penelitian mengenai pengaruh *carrier frequency* VSD terhadap harmonisa juga menunjukkan bahwa karakteristik keluaran inverter dapat memengaruhi kualitas daya pada sistem tenaga[6][7]. Di sisi lain, kajian mengenai performa generator sinkron umumnya menitikberatkan pada pengaruh pembebanan terhadap kestabilan tegangan dan frekuensi, tanpa mengaitkannya dengan variasi pengaturan VSD sebagai penggerak utama generator. Dengan demikian, masih diperlukan penelitian yang menghubungkan aspek pengendalian kecepatan motor menggunakan VSD dengan perubahan frekuensi keluaran serta karakteristik gelombang generator sinkron satu fasa secara eksperimental[8].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi pengaturan *Variable Speed Drive* sebesar 25%, 30%, dan 50% terhadap frekuensi keluaran dan karakteristik bentuk gelombang generator sinkron satu fasa yang digerakkan oleh motor induksi tiga fasa. Pengujian dilakukan menggunakan generator sinkron KAVEA berkapasitas 3 kW, motor induksi tiga fasa 0,75 kW, serta VSD Altivar 320. Frekuensi keluaran diukur menggunakan multimeter digital dan diverifikasi melalui perhitungan berdasarkan periode gelombang yang diperoleh dari osiloskop. Kontribusi penelitian ini adalah menyajikan bukti eksperimental mengenai hubungan antara pengaturan VSD, kecepatan putar generator, frekuensi keluaran, dan karakteristik bentuk gelombang sehingga dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem pembangkit listrik skala kecil, media pembelajaran laboratorium, maupun aplikasi industri yang memerlukan pengaturan frekuensi berbasis VSD.

II. METODE PENELITIAN

A. Metode

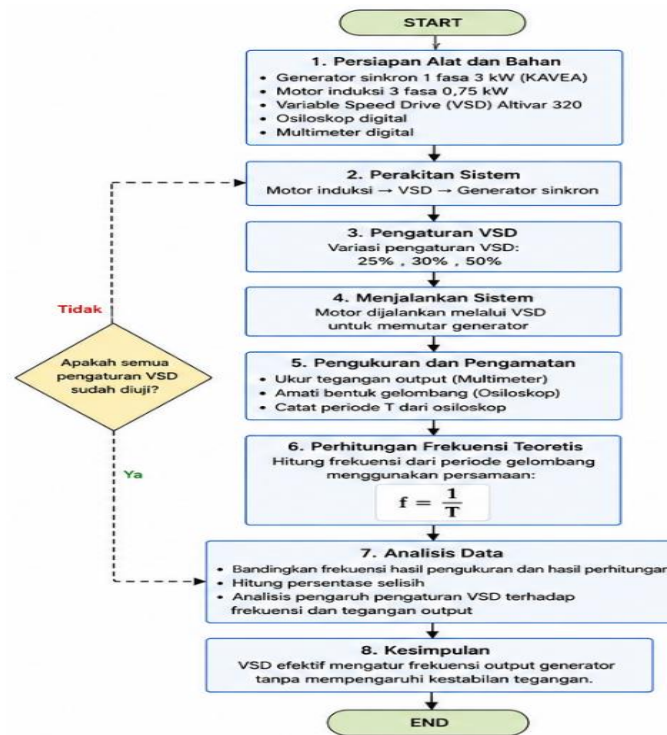
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh pengaturan *Variable Speed Drive* (VSD) terhadap frekuensi keluaran dan karakteristik bentuk gelombang generator sinkron satu fasa. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan pengaturan kecepatan VSD pada tiga tingkat, yaitu 25%, 30%, dan 50%, kemudian mengamati perubahan frekuensi keluaran generator, kecepatan putar, serta bentuk gelombang tegangan yang dihasilkan. Seluruh rangkaian pengujian disusun sesuai konfigurasi sistem yang terdiri atas sumber listrik tiga fasa, VSD, motor induksi tiga fasa, generator sinkron satu fasa, serta perangkat pengukuran berupa osiloskop digital, multimeter digital, dan tachometer. Spesifikasi peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifik alat dan bahan

No.	Alat/Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1	Generator satu fasa	KAVEA A.C. Synchronous Generator, kapasitas 3 kW, 220 V, 50 Hz, 1500 rpm	Sebagai sumber pembangkit listrik pada sistem pengujian
2	Variable Speed Drive (VSD)	Altivar 320	Mengatur kecepatan motor penggerak sehingga putaran generator dapat divariasikan
3	Motor induksi tiga fasa	Daya 0,75 kW (1 HP), 220/380 V, 2830 rpm	Sebagai penggerak utama generator sinkron
4	Osiloskop digital	Digital Oscilloscope	Menampilkan dan menganalisis bentuk gelombang tegangan keluaran generator
5	Multimeter digital	Digital Multimeter	Mengukur tegangan dan frekuensi keluaran sistem
6	Tachometer	Digital Tachometer	Mengukur kecepatan putar rotor generator
7	Laptop	Laptop dengan perangkat lunak pengolah data	Akuisisi, pengolahan, analisis, dan visualisasi data hasil pengujian

B. Sampel Penelitian

Sampel pada penelitian ini berupa tiga kondisi pengaturan kecepatan *Variable Speed Drive* (VSD), yaitu 25%, 30%, dan 50%. Pada setiap kondisi dilakukan pengujian terhadap generator sinkron satu fasa yang digerakkan oleh motor induksi tiga fasa untuk memperoleh data frekuensi keluaran generator, kecepatan putar motor, tegangan keluaran generator, serta bentuk gelombang tegangan. Setiap tingkat pengujian diulang sebanyak tiga kali untuk memperoleh data yang konsisten dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan pengukuran.. Alur diagram penelitian disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Alur diagram penelitian

. Setiap level pengujian diulang sebanyak tiga kali untuk memperoleh data yang valid. Frekuensi output juga dihitung secara teoretis berdasarkan periode gelombang yang teramati pada osiloskop, kemudian hasil pengukuran dan hasil perhitungan dibandingkan untuk melihat kesesuaian serta pengaruh VSD terhadap performa sistem. Rangkaian pengujian terdiri atas motor induksi tiga fasa yang dikopel langsung dengan generator satu fasa, dengan kecepatan putar motor dikendalikan oleh VSD. Konfigurasi rangkaian pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian pengujian motor induksi tiga fasa dan generator satu fasa yang dikendalikan VSD

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Pengaturan VSD terhadap Frekuensi dan Kecepatan Generator

Pengujian dilakukan pada tiga variasi pengaturan Variable Speed Drive (VSD), yaitu 25%, 30%, dan 50%, untuk mengevaluasi pengaruh perubahan kecepatan motor induksi terhadap frekuensi keluaran generator sinkron

satu fasa. Parameter yang diamati meliputi frekuensi motor, frekuensi generator, putaran generator, tegangan eksitasi AC/DC, dan tegangan keluaran generator. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pengukuran pada Kontrol VSD

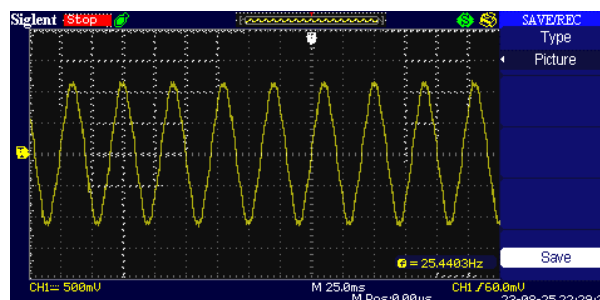
VSD (%)	Frek. Motor (Hz)	Frek. Generator (Hz)	Putaran (rpm)	Veksitasi AC/DC (V)	Vout Generator (V)
25	12,72	25,44	763,2	25 / 20	220
30	14,28	31,311	856,8	25 / 20	220
50	25	50	1500	25 / 20	220

Berdasarkan data pada Tabel 2, peningkatan persentase pengaturan VSD menyebabkan kenaikan frekuensi motor, putaran rotor, dan frekuensi keluaran generator secara proporsional. Pada pengaturan VSD 25%, frekuensi motor sebesar 12,72 Hz menghasilkan putaran generator 763,2 rpm dengan frekuensi keluaran 25,44 Hz. Ketika pengaturan VSD dinaikkan menjadi 30%, frekuensi motor meningkat menjadi 14,28 Hz, putaran generator menjadi 856,8 rpm, dan frekuensi keluaran generator mencapai 31,311 Hz. Pengaturan maksimum pada VSD 50% menghasilkan frekuensi motor 25 Hz, putaran generator 1500 rpm, dan frekuensi keluaran generator sebesar 50 Hz, sesuai dengan frekuensi nominal generator.

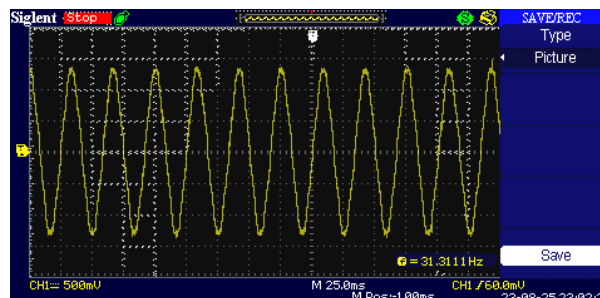
Selain peningkatan frekuensi, hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan eksitasi tetap sebesar 25 V AC dan 20 V DC, sedangkan tegangan keluaran generator tetap stabil pada 220 V pada seluruh kondisi pengujian. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan pengaturan VSD memengaruhi frekuensi keluaran melalui perubahan kecepatan putar motor, sementara tegangan keluaran generator tidak mengalami perubahan selama rentang pengujian.

B. Karakteristik Bentuk Gelombang Generator

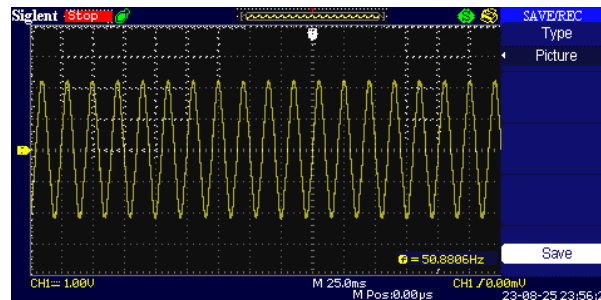
Karakteristik bentuk gelombang keluaran generator diamati menggunakan osiloskop digital pada setiap variasi pengaturan VSD. Hasil pengamatan ditampilkan pada gambar 3, gambar 4, dan gambar 5.



Gambar 3. Bentuk gelombang output generator pada VSD 25% ($f = 25,44$ Hz)



Gambar 4. Bentuk gelombang output generator pada VSD 30% ($f = 31,311$ Hz)



Gambar 5. Bentuk gelombang output generator pada VSD 50% ($f = 50$ Hz)

Pada pengaturan VSD 25%, bentuk gelombang menunjukkan frekuensi 25,44 Hz dengan jumlah siklus yang relatif lebih sedikit dalam interval waktu pengamatan. Ketika pengaturan VSD dinaikkan menjadi 30%, jumlah siklus gelombang bertambah sehingga frekuensi meningkat menjadi 31,311 Hz. Selanjutnya, pada VSD 50%, bentuk gelombang memiliki kerapatan siklus paling tinggi dengan frekuensi 50 Hz, sesuai dengan frekuensi standar sistem tenaga listrik. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan pengaturan VSD diikuti oleh peningkatan jumlah siklus gelombang yang dihasilkan generator.

Hasil pengamatan juga memperlihatkan bahwa bentuk gelombang keluaran generator tetap menyerupai gelombang sinus pada seluruh kondisi pengujian. Perbedaan utama yang terlihat adalah perubahan periode dan kerapatan siklus akibat peningkatan frekuensi, sedangkan amplitudo gelombang secara visual tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Kondisi ini sejalan dengan hasil pengukuran tegangan keluaran generator yang tetap berada pada 220 V selama pengujian berlangsung.

C. Perbandingan Frekuensi Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Selain diukur menggunakan multimeter digital, frekuensi keluaran generator juga dihitung berdasarkan periode gelombang yang diperoleh dari tampilan osiloskop menggunakan Persamaan (1), yaitu

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Dimana : f = frekuensi (Hz)

T = Periode

Berdasarkan pembacaan periode gelombang, diperoleh nilai 40 ms pada pengaturan VSD 25%, 35 ms pada VSD 30%, dan 20 ms pada VSD 50%. Hasil perhitungan menghasilkan frekuensi berturut-turut sebesar 25 Hz, 28,57 Hz, dan 50 Hz.

Perbandingan antara frekuensi hasil pengukuran dan hasil perhitungan menunjukkan bahwa kedua metode memberikan hasil yang relatif berdekatan. Pada VSD 25%, frekuensi hasil pengukuran sebesar 25,44 Hz memiliki selisih 1,76% terhadap hasil perhitungan. Pada VSD 30%, selisih meningkat menjadi 9,50%, sedangkan pada VSD 50% frekuensi hasil pengukuran dan hasil perhitungan sama, sehingga tidak terdapat selisih. Data tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Frekuensi VSD, Generator, dan Hasil Perhitungan

VSD (%)	Frek. Generator (Hz)	Frek. Perhitungan (Hz)	Selisih (%)
25	25,44	25	1,76
30	31,311	28,57	9,50
50	50	50	0,00

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan pengaturan VSD berpengaruh langsung terhadap peningkatan frekuensi keluaran generator sinkron satu fasa. Pada pengaturan VSD sebesar 25%, frekuensi keluaran generator tercatat sebesar 25,44 Hz, kemudian meningkat menjadi 31,311 Hz pada pengaturan 30%, dan mencapai 50 Hz pada pengaturan 50%. Peningkatan tersebut diikuti oleh kenaikan kecepatan putar rotor dari 763,2 rpm menjadi 856,8 rpm, hingga mencapai 1500 rpm pada kondisi nominal. Temuan ini menunjukkan hubungan linier antara frekuensi keluaran VSD, kecepatan putar motor induksi, dan frekuensi keluaran generator

sinkron, sesuai karakteristik dasar generator sinkron yang menyatakan bahwa frekuensi listrik berbanding lurus dengan kecepatan putar rotor.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian mengenai pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan VSD yang melaporkan bahwa perubahan frekuensi keluaran inverter akan meningkatkan kecepatan putar motor secara proporsional sehingga memberikan fleksibilitas pengendalian pada sistem penggerak[1][3]. Namun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada karakteristik motor induksi, efisiensi energi, atau konsumsi daya tanpa mengevaluasi pengaruhnya terhadap karakteristik keluaran generator sinkron. Pada penelitian ini, perubahan frekuensi motor dibuktikan secara langsung menghasilkan perubahan frekuensi keluaran generator, sehingga memperluas pemahaman mengenai pengaruh VSD terhadap sistem konversi energi yang melibatkan generator sinkron satu fasa.

Selain memengaruhi frekuensi keluaran, hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran generator tetap berada pada 220 V untuk seluruh variasi pengaturan VSD. Kondisi ini mengindikasikan bahwa perubahan kecepatan putar yang terjadi selama pengujian tidak menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap amplitudo tegangan keluaran generator. Secara teoritis, generator sinkron mampu mempertahankan tegangan terminal selama sistem eksitasi berada pada kondisi konstan, sehingga perubahan frekuensi akibat variasi putaran tidak selalu diikuti oleh perubahan tegangan keluaran. Temuan ini memperlihatkan bahwa pengaturan frekuensi melalui VSD dapat dilakukan tanpa mengganggu kestabilan tegangan pada kondisi operasi yang digunakan dalam penelitian.

Pengamatan menggunakan osiloskop juga menunjukkan bahwa bentuk gelombang keluaran generator tetap menyerupai gelombang sinus pada seluruh kondisi pengujian. Perbedaan yang terlihat terutama terletak pada perubahan periode dan kerapatan siklus sebagai konsekuensi langsung dari perubahan frekuensi. Pada pengaturan VSD 50%, gelombang memiliki periode paling pendek sehingga menghasilkan frekuensi nominal 50 Hz, sedangkan pada pengaturan 25% dan 30% jumlah siklus dalam interval waktu yang sama lebih sedikit. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa perubahan pengaturan VSD tidak mengubah karakteristik dasar bentuk gelombang, tetapi mengubah jumlah siklus yang dihasilkan dalam satuan waktu tertentu.

Validasi menggunakan perhitungan berdasarkan periode gelombang menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki tingkat kesesuaian yang baik dengan hasil teoritis. Selisih frekuensi sebesar 1,76% pada pengaturan 25% dan 9,50% pada pengaturan 30% masih menunjukkan kecenderungan yang sama terhadap perubahan pengaturan VSD, sedangkan pada kondisi 50% tidak ditemukan perbedaan antara hasil pengukuran dan hasil perhitungan. Perbedaan yang muncul pada dua kondisi pertama kemungkinan dipengaruhi oleh keterbatasan resolusi pembacaan periode gelombang pada osiloskop serta toleransi akurasi instrumen pengukuran, bukan oleh perubahan karakteristik generator itu sendiri. Oleh karena itu, penggunaan dua metode evaluasi, yaitu pengukuran langsung dan perhitungan berdasarkan periode gelombang, memberikan validasi yang lebih kuat terhadap hasil penelitian.

Dibandingkan penelitian terdahulu, kontribusi utama penelitian ini terletak pada evaluasi eksperimental hubungan antara pengaturan VSD, kecepatan putar motor induksi, frekuensi keluaran generator sinkron, dan karakteristik bentuk gelombang dalam satu sistem pengujian yang terintegrasi. Penelitian-penelitian sebelumnya umumnya mengevaluasi performa VSD pada sisi motor induksi atau menganalisis pengaruh pembebanan terhadap generator secara terpisah. Sebaliknya, penelitian ini menunjukkan secara langsung bagaimana variasi pengaturan VSD memengaruhi frekuensi keluaran generator dan memverifikasi hasil tersebut menggunakan dua pendekatan pengukuran, yaitu pembacaan frekuensi dengan multimeter digital dan perhitungan berdasarkan periode gelombang pada osiloskop. Pendekatan tersebut memberikan bukti eksperimental yang lebih komprehensif mengenai performa sistem penggerak-generator berbasis VSD.

Implikasi praktis dari penelitian ini adalah bahwa *Variable Speed Drive* dapat dimanfaatkan sebagai metode yang sederhana dan efektif untuk mengendalikan frekuensi keluaran generator sinkron satu fasa tanpa menyebabkan perubahan tegangan keluaran pada kondisi pengujian yang digunakan. Temuan ini berpotensi diterapkan pada sistem praktikum laboratorium, modul pembelajaran konversi energi listrik, pengujian generator skala kecil, maupun aplikasi industri yang memerlukan pengaturan frekuensi keluaran secara fleksibel melalui pengendalian kecepatan motor penggerak.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, pengaturan Variable Speed Drive (VSD) terbukti berpengaruh secara langsung terhadap frekuensi keluaran generator sinkron satu fasa melalui perubahan kecepatan putar motor induksi sebagai penggerak utama. Peningkatan pengaturan VSD dari 25%, 30%, hingga 50% menghasilkan kenaikan frekuensi keluaran generator dari 25,44 Hz, 31,311 Hz, hingga mencapai 50 Hz, seiring dengan peningkatan putaran rotor

dari 763,2 rpm menjadi 1500 rpm. Meskipun frekuensi mengalami perubahan, tegangan keluaran generator tetap stabil pada 220 V, sedangkan bentuk gelombang yang diamati menggunakan osiloskop tetap menyerupai gelombang sinus dengan perubahan pada kerapatan siklus sesuai peningkatan frekuensi. Hasil pengukuran juga menunjukkan kesesuaian yang baik dengan frekuensi teoritis yang dihitung berdasarkan periode gelombang, dengan selisih terbesar sebesar 9,50% pada pengaturan VSD 30% dan tanpa selisih pada pengaturan VSD 50%. Temuan ini menunjukkan bahwa VSD merupakan metode yang efektif untuk mengendalikan frekuensi keluaran generator sinkron satu fasa tanpa memengaruhi kestabilan tegangan, sehingga berpotensi diterapkan pada sistem pembangkit skala kecil, laboratorium pembelajaran, maupun aplikasi industri yang memerlukan pengaturan frekuensi secara fleksibel

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Musyaffa, "Speed Control Analysis of Frequency Changes in Three Phase Synchronous Motor with Variable Speed Drive (VSD)," vol. 7, no. 3, 2025.
- [2] R. B. Nugraha, I. M. W. Kastawan, and P. Raharjo, "Pengaruh carrier frequency VSD terhadap harmonisa suplai daya listrik motor induksi 3-fasa," vol. 3, no. 2, pp. 121–126, 2023.
- [3] J. Jakariya and D. P. Mustika, "Harmonic Analysis and Performance of a VFD-Controlled Single-Phase Motor," 2025.
- [4] A. Arranz-gimon, D. Morinigo-sotelo, A. Zorita-lamadrid, and O. Duque-perez, "Harmonic Distortion Indices for Experimental Characterization of Variable Frequency Drives," *IEEE Access*, vol. 12, no. October, pp. 146343–146358, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3474176.
- [5] I. Diahovchenko, E. Najafi, and T. O. Donnell, "Harmonic Mitigation Solutions for Industrial Connections With Variable Frequency Drives : Meeting the Standards and Beyond," *IEEE Access*, vol. 14, no. April, pp. 55788–55801, 2026, doi: 10.1109/ACCESS.2026.3682461.
- [6] M. Z. Hamim, S. Salimin, and A. A. Bakar, "Analysis of Variable Frequency Drive for Induction Motor using Matlab Software," vol. 1, no. 1, pp. 117–129, 2024.
- [7] N. Mahind, T. Jadhav, and P. Sawant, "SPEED CONTROL OF SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR USING VFD SYSTEM," no. 07, pp. 1651–1654, 2025.
- [8] B. N. Ramadhan, D. A. Pratama, and S. Rasyad, "Analysis Control Speed Of Frequency Changes In Three Phase Induction Motor Based on VSD Analisa Pengaturan Kecepatan Terhadap Perubahan Frekuensi Pada Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis VSD," vol. 2, no. December, pp. 70–77, 2022.