

OPTIMASI INVERTER DENGAN TEKNIK *PID* MENGUNAKAN METODE *ZIEGLER-NICHOLS*

Mochammad Dhimyati², Efendi S Wirateruna², M. Jasa Afroni³

^{1,2,3} Universitas Islam Malang

22001053017@unisma.ac.id, efendi.s.wirateruna@unisma.ac.id, jasa.afroni@unisma.ac.id

Abstract

This paper contains optimization of inverter output using the PID technique in driving an electric motor. Changes in the value of the incoming current to the inverter cause the inverter output to be less than optimal. The aim of this research is to obtain information from the results of optimizing inverter performance using the PID technique on a solar power generation system. This research discusses the output produced by the inverter so that it is stable and reaches the desired set point value using the PID technique using the Ziegler-Nichols method to determine the K_p , K_i and K_d values. This technique can optimize the alternating current (AC) wave output of the inverter in the design of Solar Power Plants. By using variable input current and voltage from the inverter output during the process. The research results showed that the voltage value obtained from experiments using the PID technique had a set point of 220V, while the voltage coming out of the inverter had an average of 219.8V. The Mean Average Percentage (MEAN) value is 1.48%. This value is a good ability so it can be said that the use of the PID technique is quite optimal and better.

Keywords— Design, PID Engineering, Ziegler-Nichols, Inverter.

Abstraksi

Makalah ini berisikan optimasi keluaran inverter dengan Teknik PID. Perubahan nilai arus masuk pada inverter menyebabkan keluaran inverter kurang maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh informasi dari hasil optimasi kinerja inverter menggunakan Teknik PID pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Penelitian ini membahas tentang keluaran yang dihasilkan oleh inverter agar stabil dan tercapai dalam nilai set point yang diinginkan dengan Teknik PID menggunakan cara metode Ziegler-Nichols untuk menentukan Nilai K_p , K_i , dan K_d . Teknik tersebut dapat mengoptimasi terhadap gelombang arus Listrik bolak-balik/*alternating current* (AC) keluaran inverter pada perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Dengan memakai variable input arus dan tegangan dari keluaran inverter selama berproses. Hasil penelitian didapatkan bahwa nilai tegangan yang diperoleh dari percobaan yang menggunakan Teknik PID dengan set point 220V, sedangkan yang keluar dari inverter memiliki rata-rata 219.8V. Nilai *Mean Average Percentage* (MEAN) sebesar 1,48% Dimana nilai tersebut merupakan kemampuan yang baik sehingga bisa dikatakan bahwa penggunaan Teknik PID cukup optimal dan lebih baik.

Kata Kunci— Desain, Teknik PID, Ziegler-Nichols, Inverter.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia. Ketersediaan air yang cukup bagi manusia terkadang menjadi masalah, terutama untuk daerah yang ketersediaan sumber air yang jauh dari tempat tinggal. Pada saat ini perkembangan teknologi berkembang sangat pesat. Hampir setiap saat muncul inovasi-inovasi baru, bahkan inovasi-inovasi yang sudah lama pun mulai dikembangkan seperti pada pembahasan ini yang mengembangkan sumber Listrik tenaga surya digabungkan menjadi pompa air bersih bertenaga surya. Penerapan energi baru terbarukan sudah banyak digiatkan oleh pemerintah untuk meminimalisir penggunaan energi fosil dan imbasnya yang buruk pada lingkungan.

Inovasi ini akan memecahkan masalah tentang banyak rumah yang terkadang susah mendapatkan air bersih, dikarenakan sumber air yang jauh dari pemukiman atau sulitnya Listrik

untuk menjangkau di daerah tersebut. Maka dari itu dalam pembahasan kali ini bagaimana kita bisa menampung air bersih dengan mengoptimalkan energi yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Arus listrik yang dihasilkan panel surya adalah arus searah, sehingga pemanfaatan listrik untuk menggerakkan pompa air yang menggunakan arus bolak-balik harus memakai suatu komponen yang bernama inverter [1].

Inverter yang terhubung ke jaringan fotovoltaik merupakan jembatan penting yang menghubungkan sistem tenaga fotovoltaik dan jaringan listrik, yang kinerjanya secara signifikan menentukan faktor daya dan arus kejutan jaringan Listrik. Oleh karena itu, pemodelan atau desain inverter sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kinerja inverter fotovoltaik yang terhubung ke pompa air agar pelacakan informasi tegangan jaringan secara cepat dan akurat[2].

Dalam Jurnal yang Diulas Oleh Yiyan Sang, dan Zhang Xiaoshun berjudul "Optimal PID Tuning of PLL for PV Inverter Based on Aquila

Optimizer” ini mengadopsi algoritma pengoptimal Aquila untuk mengatur parameter proporsional-integral-diferensial (PID) PLL untuk memperlancar fluktuasi daya dan meningkatkan kualitas koneksi jaringan. Tiga strategi pengaturan (yaitu, pengaturan PLL, pengaturan global, dan pengaturan bertahap) dirancang dengan cermat untuk mengevaluasi kinerja metode yang diusulkan secara sistematis dan komprehensif berdasarkan model simulasi di MATLAB/Simulink, yaitu, “250-kW Grid-Connected PV Array”[2].

Dalam Jurnal William H.S Molle, Vecky C. Poekoel, dan Feisy D. Kambey yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kendali Pompa Air Bersih Bertenaga Surya Di Kawasan Relokasi Korban Banjir Pandu” dalam jurnal tersebut meneliti tentang Sistem ini mengoptimalkan daya yang dihasilkan panel surya untuk memompa air dari sumber air bersih yang ada di sekitar kita, dengan menggunakan pompa DC Submersible. Pemilihan pompa sangat sulit untuk dipilih dan karena sistem ini ingin mengoptimalkan daya yang dihasilkan dari panel maka pompa inipun dipilih karena beban dayanya yang bisa terbilang kecil membuat panel surya bisa men-supply pompa ini[3].

Dalam jurnal Jouda Arfaoui, Hegazy Rezk, Mujahed Al-Dhaifallah, Mohamed N. Ibrahim, dan Mami Abdelkader yang berjudul “Simulation-Based Coyote Optimization Algorithm to Determine Gains of PI Controller for Enhancing the Performance of Solar PV Water-Pumping System” Dalam penelitian ini, disajikan algoritma optimasi coyote berbasis simulasi untuk mengidentifikasi perolehan PI guna meningkatkan kinerja sistem pemompaan air yang disalurkan dari sistem fotovoltaik[4].

Dalam jurnal Muhammad Rizka Ardiansyah yang berjudul “Optimasi Kinerja Inverter Pada Smartgrid Photovoltaic System Berbasis Neural Network” Penelitian dilakukan membandingkan antara hasil keluaran inverter dengan patokan sumber Pembangkit Listrik Negara (PLN) yang sistem inverter menggunakan menggunakan metode Neural Network dan tanpa menggunakan metode[1].

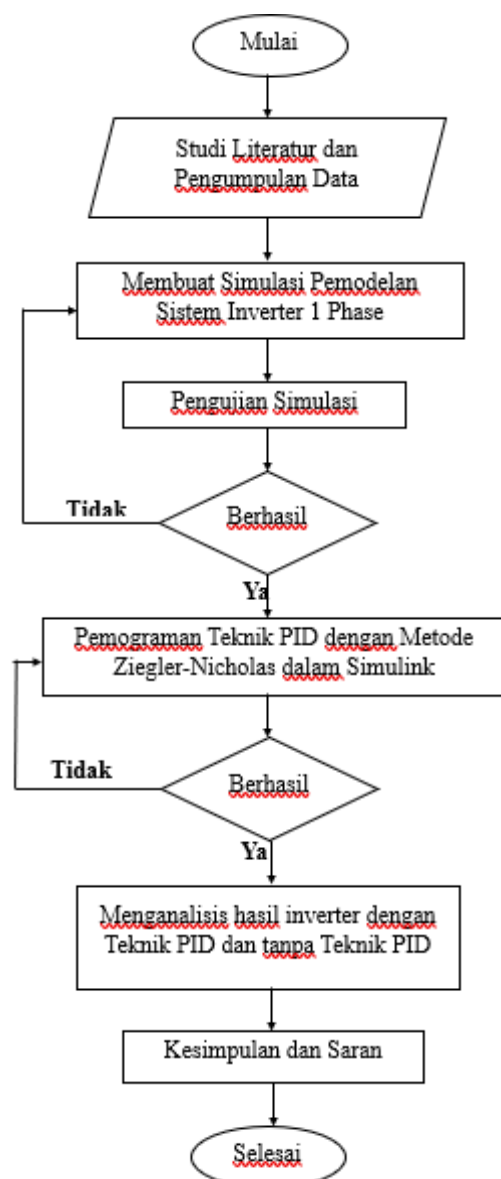
Berdasarkan referensi penelitian di atas, beberapa penelitian banyak membahas mengenai bagaimana meningkatkan kinerja sistem pemompaan air dalam sistem PLTS atau desain dan implementasi inverter pada berbagai sistem dan metode dengan variabel daya, temperature, dan lain-lain. Pada penelitian kali ini memiliki kebaharuan penggunaan metode PID untuk mengoptimasi keluaran inverter pada perancangan pembangkit Listrik tenaga surya. Metode tersebut dapat mengoptimasi terhadap perubahan gelombang arus listrik bolak-balik/alternating current (AC) pada keluaran inverter dalam desain PLTS. Dengan memakai variabel input arus yang masuk selama proses

pada inverter.

Pada penelitian ini membahas tentang sebuah sistem kendali yang berfungsi supaya sistem PLTS dapat dimaksimalkan energi yang dihasilkan menggunakan Teknik Proporsional, Integral dan Derivative dengan metode Ziegler-Nichols. Nilai dari parameter PID konvensional akan tetap selama operasi, akan tetapi menentukan parameter PID agar supaya sama dengan apa yang kita inginkan juga sangat sulit. Optimalisasi PID menggunakan algoritma Ziegler-Nichols merupakan metode untuk menala parameter PID. Teknik ini bertujuan untuk menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d dari pengendali PID untuk kinerja optimal.

II. METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Alur kerja penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 menunjukkan penelitian ini dimulai dari studi literatur baik dari buku, paper maupun dari

jurnal hasil penelitian sebelumnya. Langkah selanjutnya yakni mengumpulkan data-data dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Kemudian merancang simulasi pemodelan sistem Inverter menggunakan Simulink matlab dan melakukan pengujian simulasi. Setelah berhasil melakukan pengujian simulasi pada matlab, apabila sudah berhasil dilanjutkan dengan memodel inverter dengan menambahkan Teknik PID. Apabila dirasa cukup berhasil dalam memprogram sitem Teknik PID kemudian melakukan pengujian sistem Inverter dan Analisa hasil pengujian. Langkah yang terakhir yakni menarik Kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

Simulasi Sitem

Sistem Inverter pada penelitian ini menggunakan Inverter Satu Phase yang berfungsi untuk mengoptimalkan tegangan yang dihasilkan oleh system PLTS yang akan dimanfaatkan oleh motor Listrik(sanyo). Komponen utama terdiri dari MOSFET, inductor, capasitor, dan kapasitor. Rangkaian Inverter ditunjukan oleh Gambar 2. Dalam melakukan perancangan Inverter menentukan parameter komponen Inverter dengan cara:

- Menentukan *range* tegangan masukan (V_{in}) dan tegangan keluaran (V_o)
- Menentukan nilai perancangan inductor menggunakan persamaan dan capasitor menggunakan persamaan.

2.1 Rumus Ipedansi Induktor:

$$X_L = 2\pi fL$$

Untuk mendatkan gelombang sinusoidal yang baik:

$$X_L > 10 \cdot R_{beban}$$

Sehingga didapat persamaan Induktor:

$$L_{min} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{3226,67}{2\pi 50} = 10,27 \text{ H}$$

2.2 Rumus ipedansi kapasitor

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Sehingga didapat persamaan Capasitor:

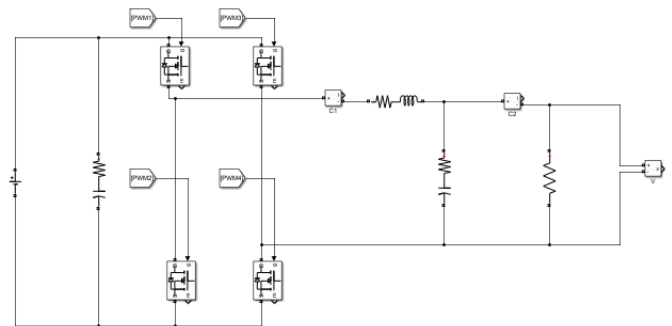
$$C = \frac{1}{2\pi fX_C} = \frac{1}{2\pi 50 \cdot 32,27} = 0,0000986 \text{ } \Omega$$

Setelah didapatkan parameter komponen Inverter dari perhitungan di atas maka didapatkan data parameter komponen Inverter pada Tabel 1

Tabel 3. 1 Parametr Komponen Inverter Satu Phase

Parameter	Nilai
RL	1 Ω
RC	4,7 Ω
Induktor	10,27H
Kapasitor	0,0000986 Ω
Frekuensi	50Hz
Mosfet	IRF 740

Gambar 2. Rangkaian Inverter dalam Simulink



Perancangan Kontroler PID dengan Metode Ziegler-Nichold

Pada penelitian ini digunakan PID dengan metode Ziegler-Nichols untuk mencari nilai suatu Propotional(K_p), Integral(K_i), dan Derivative(K_d) agar supaya output Inverter bisa setabil dengan besaran yang sudah saya setingan. Implementasi Controller PID didalam Simulink matlab R2019b ditunjukan dengan Gambar 3.6. Pada perancangan metode Ziegler-Nichols pada PID, variable nilai K_p , K_i , dan K_d harus dihitung terlebih dahulu agar supaya controller PID bisa berproses dengan baik. Metode Ziegler-Nichols mempunyai beberapa Langkah untuk menentukan suatu nilai K_p , K_i , dan K_d sebagai berikut:

- Mencari nilai proportional tanpa memasukan nilai Integral dan Derivatifnya, sehingga hanya bagian proportional yang dipakai.
- Menseting gain proportional (K_p) secara perlahan hingga system terlihat osilasi yang stabil
 - Catat nilai K_u (ultimate gain) yang menunjukan osilasi menjadi stabil.
 - Catat periode osilasi stabil T_u (ultimate periode)
- Gunakan tabel berikut untuk menghitung parameter PID:

Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 \times K_u$	-	-

PI	$0,45 \times K_u$	$\frac{T_u}{1,2}$	-
PID	$0,6 \times K_u$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{8}$

Tabel 2 Cara Mencari Kp, Ki, dan Kd metode Ziegler-Nichols

4. Menghitung Ki dan Kd
 - Terapkan nilai Kp, Ki= Kp/Ti dan Kd= Kp × Td
 - Uji respon system dan evaluasi performanya.

Pada perancangan Teknik PID variable diibaratkan sebagai pengatur on dan off nya suatu MOSFET sehingga sinyal menjadi AC. Metode Ziegler-Nichols menentukan nilai besaran PID itu sendiri, sehingga kombinasi yang dihasilkan bisa sesuai agar menghasilkan outputan dari suatu inverter itu tercapai dengan setingan yang sudah diinginkan.

Nilai parameter yang akan diamati pada penelitian ini adalah tegangan output dari Inverter (Volt) juga sebagai masukan dari PID dan dimanfaatkan oleh motor listrik (sanyo). Nilai tegangan output dari inverter yang terukur dan digunakan sebagai variable masukan PID untuk menghasilkan output yang setabil. Nilai dari proses PID yang akan diubah dulu menjadi sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). PWM akan dimasukkan ke dalam inverter dan kemudian akan didapatkan nilai tegangan dan arus keluaran inverter yang kemudian dianalisis dengan set point yang di seting.

Pencarian Tranfer function Teknik PID

$$H_{inverter}(S) \quad (1)$$

Filter LC

$$H_{LC}(S) = \frac{1}{L.C.S^2 + R.C.S} \quad (2)$$

Beban Inverter

$$H_{Load}(S) = \frac{1}{L_{load}.S + R_{load}} \quad (3)$$

Fungsi Transfer Total

$$H_{inverter}(S) \cdot H_{LC}(S) \cdot H_{Load}(S) \quad (4)$$

Kontrol PID

$$G_{PID}(S) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d(s) \quad (5)$$

Loop Tertutup

$$H(S) = \frac{G_{PID}(S) \cdot H_{Total}(S)}{1 + G_{PID}(S) \cdot H_{Total}(S)} \quad (6)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Inverter Satu Phase tanpa PID

Hasil dari pengujian *inverter* tanpa Teknik PID dengan tegangan 311Vdc. Grafik yang dihasilkan inverter menunjukkan belum adanya kestabilan yang dihasilkan. Dengan adanya beban sebesar 200Ω dan juga belum menggambar grafik menjafi tegangan AC keluaran yang dihasilkan oleh inverter ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 3 Nilai Tegangan Hasil Simulasi

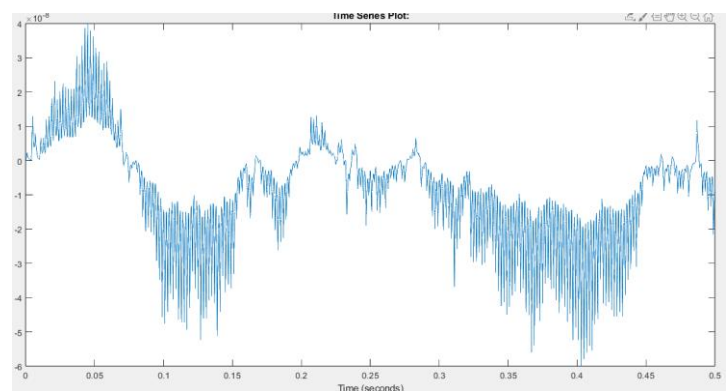
▼ Overshoots / Undershoots	
+ Preshoot	23.950 %
+ Overshoot	25.571 %
+ Undershoot	62.385 %
+ Settling Time	--
- Preshoot	75.357 %
- Overshoot	36.079 %
- Undershoot	29.330 %
- Settling Time	--
- Rise Time	2.000 ms
- Slew Rate	-3.710 (/Ms)

Gambar 4 Nilai Overshot dan Undershot yang dihasilkan

Gambar 4 Grafik Tegangan Keluaran hasil Pengujian inverter

Pengujian Inverter dengan PID menggunakan Teknik PID menggunakan optimasi Ziegler-Nichols

Pengujian PID berbasis metode Ziegler-Nichols dilakukan untuk mengetahui performa system inverter yang dirancang dalam Simulink matlab menggunakan Ziegler-Nichols dalam menentukan nilai besaran Kp, Ki, dan Kd yang mengoptimalkan berbagai kondisi. Kondisi pertama adalah kondisi tanpa adanya beban



sehingga keluaran inverter hanya muncul tegangan AC rangkainnya seperti pada Gambar 7.

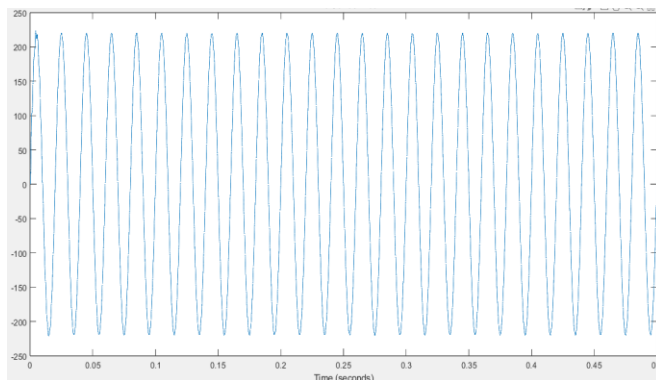
Kurva tegangan dalam kondisi ini pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan gambar tersebut ditunjukkan bahwa grafik tegangan mulai stabil pada waktu yang cukup cepat yaitu 5,853ms. Pada Gambar keluaran hasil pengoptimalan menggunakan control PID memiliki tingkat keakuratan yang baik dan realtif cepat yaitu 5,853mss.

▼ Transitions	
High	2.172e+02
Low	-2.192e+02
Amplitude	4.364e+02
+ Edges	24
+ Rise Time	5.853 ms
+ Slew Rate	59.644 (/ms)
- Edges	24
- Fall Time	5.857 ms
- Slew Rate	-59.606 (/ms)

Gambar 5 Nilai Tegangan yang dihasilkan Simulasi

▼ Overshoots / Undershoots	
+ Preshoot	0.138 %
+ Overshoot	0.643 %
+ Undershoot	1.997 %
+ Settling Time	--
- Preshoot	0.678 %
- Overshoot	1.997 %
- Undershoot	0.138 %
- Settling Time	--

Gambar 6 Nilai Overshoot dan Undershoot yang dihasilkan



Gambar 7 Grafik Tegangan Keluaran hasil Pengujian inverter dengan Teknik PID tanpa beban

Pengujian Inverter dengan PID menggunakan Teknik PID menggunakan optimasi Ziegler-Nichols dengan beban 200 Ω

Pengujian PID berbasis metode Ziegler-Nichols dalam keadaan berbeban dengan beban resistor 200 Ω . Dalam simulasi ini arus juga memiliki peran karena menghasilkan nilai yang dihasilkan. Rangkaian inverter seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Grafik tegangan dan arus pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 10.

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan bahwa grafik tegangan mulai stabil pada waktu yang cukup cepat yaitu 5.836ms. Pada Gambar tersebut keluaran hasil inverter menggunakan PID dengan tambahan nilai arus sangat membantu untuk mempercepat kestabilan dalam keluaran inverter.

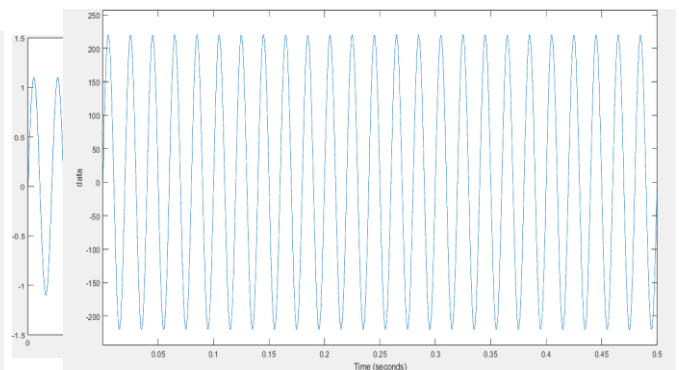
Gambar 8 Nilai Tegangan yang dihasilkan

▼ Transitions	
High	2.177e+02
Low	-2.174e+02
Amplitude	4.351e+02
+ Edges	11
+ Rise Time	5.836 ms
+ Slew Rate	59.643 (/ms)
- Edges	10
- Fall Time	5.830 ms
- Slew Rate	-59.707 (/ms)

Simulas

▼ Overshoots / Undershoots	
+ Preshoot	0.443 %
+ Overshoot	0.471 %
+ Undershoot	1.998 %
+ Settling Time	--
- Preshoot	0.473 %
- Overshoot	1.998 %
- Undershoot	0.443 %
- Settling Time	--

Gambar 9 Nilai Overshoot dan Undershoot



Gambar 10 Grafik Tegangan dan Arus Keluaran hasil Pengujian inverter dengan Teknik PID terpasang beban 200 Ω

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari perancangan, pengujian, hasil dan Analisa yang telah dilakukan dan didapatkan dari penelitian ini, maka diperoleh Kesimpulan:

- 1) Performa system Inverter dengan control PID berbasis metode Ziegler-Nichols yang didapatkan pada Simulink MATLAB R2019b Ketika inverter berada pada kondisi tanpa berbeban menunjukan bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan

menggunakan metode Ziegler-Nichols sistem mencapai respon yang stabil dengan waktu tunda, overshoot, dan settling time yang lebih optimal yaitu 5.836ms.

- 2) Rancang bangun sistem inverter menggunakan beberapa komponen yaitu Resistor, kapasitor, induktore, mosfet yang saling terhubung dan keluaran inverter disambungkan ke sensor arus dan tegangan yang dipasangkan dengan Arduino UNO yang telah diimplementasikan Teknik PID berbasis metode Ziegler-Nichols. Sensor menunjukkan hasil performa yang cukup baik dengan *Mean Absolut Perancangan Error* (MAPE) yang diperoleh sensor tegangan ZMPT101B sebesar 0,08%. MAPE sensor ACS712 sebagai sensor arus sebesar 0,14%. Inverter menunjukkan bahwa dengan nilai tegangan masukan dan beban yang konstan nilai tegangan keluaran inverter semakin meningkat seiring berkurangnya nilai selisih yang dibaca oleh sensor terhadap set point yang ditentukan.

3) Hasil pengujian implementasi rangkain sistem inverter dengan PID berbasis metode Ziegler-Nichols dengan sumber tegangan sebesar 311Vdc menunjukkan bahwa pencapaian Teknik PID untuk pengoptimalan menunjukkan bahwa inverter dapat bekerja dengan lebih efisien dan stabil. Dengan parameter PID dapat mempertahankan kestabilan yang diinginkan, PID berhasil mencapai nilai yang optimal dan stabil dalam waktu yang relative cepat. Begitu juga Ketika pengujian perbandingan antara inverter dengan Teknik PID dengan tanpa Teknik PID, hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa teknik PID menunjukkan performa yang baik dan dapat mempertahankan kestabilannya 220Vac.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Ardiansyah and D. T. Elektro, "OPTIMASI KINERJA INVERTER PADA SMARTGRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM BERBASIS NEURAL NETWORK Unit Three Kartini."
- [2] Z. Guo *et al.*, "Optimal PID Tuning of PLL for PV Inverter Based on Aquila Optimizer," *Front Energy Res*, vol. 9, Jan. 2022, doi: 10.3389/fenrg.2021.812467.
- [3] R. Sulistiyadi and O. Yuliani, "METODE PENALAAAN KONTROLER PID," 2020.
- [4] "Rancang Bangun Sistem Kendali Pompa Air Bersih Bertenaga Surya Di Kawasan Relokasi Korban Banjir Pandu".
- [5] J. Arfaoui, H. Rezk, M. Al-Dhaifallah, M. N. Ibrahim, and M. Abdelkader, "Simulation-based coyote optimization algorithm to determine gains of PI controller for enhancing the performance of solar PV water-pumping system," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 17, Sep. 2020, doi: 10.3390/en13174473.
- [6] "FullBook Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan_compressed".
- [7] M. Ali, "PEMBELAJARAN PERANCANGAN SISTEM KONTROL PID DENGAN SOFTWARE MATLAB."
- [8] I. Pratama Putra, R. Sulistyowati, H. Agus Sujono, N. Silviana Erwanti, P. Studi Teknik Elektro, and I. Teknologi Adhi Tama Surabaya, "Rancang Bangun PID Controlled Buck Boost Converter Sebagai Penstabil Tegangan Pembangkit Listrik Picohydro Portable".
- [9] Z. Laily and S. Abdul-Rahman, "PERFORMANCE COMPARISON OF PID TUNING BY USING ZIEGLER-NICHOLS AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION APPROACHES IN A WATER CONTROL SYSTEM," 2016. [Online]. Available: <http://jict.uum.edu.my>
- [10] A. dian sukowati Sukowati, "Sistem Kendali PID Aplikasi Mini Plant Water Flow Berbasis Arduino," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 10, no. 3, Nov. 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i3.3677.
- [11] A. Ghosh, A. K. Ray, M. Nurujjaman, and M. Jamshidi, "Voltage and frequency control in conventional and PV integrated power systems by a particle swarm optimized Ziegler–Nichols based PID controller," *SN Appl Sci*, vol. 3, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.1007/s42452-021-04327-8.
- [12] J. Arfaoui, H. Rezk, M. Al-Dhaifallah, M. N. Ibrahim, and M. Abdelkader, "Simulation-based coyote optimization algorithm to determine gains of PI controller for enhancing the performance of solar PV water-pumping system," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 17, Sep. 2020, doi: 10.3390/en13174473.