

Pengontrolan Tegangan Pada Proton *Exchange Membrane Fuel Cell* (PEM-FC) Menggunakan *Particle Swarm Optimization* dan PID

Pressa Perdana Surya Saputra, Misbah

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jl. Sumatera
No.101, Gresik, 61121

Abstrak

Energi terbarukan telah menempati posisi salah satu yang dominan diteliti pada saat ini seiring dengan semakin menipisnya bahan bakar fosil. Salah satu energi terbarukan yang terus berkembang adalah fuel cell. Fuel cell merupakan peralatan konversi energi berdasarkan proses elektrokimia yang mengubah oksigen dan hidrogen menjadi air dan juga sekaligus menghasilkan panas dan energi listrik. Dikarenakan tegangan keluaran fuel cell yang rendah maka fuel cell perlu dirangkai secara seri dan parallel dan dinaikkan dengan boost converter sebelum dihubungkan dengan inverter dan beban AC. Penggunaan metode PSO dalam menala nilai PID menjadi salah satu alternative yang dapat digunakan sehingga didapatkan sistem yang handal. Dari hasil simulasi, PSO-PID menghasilkan karakteristik sistem yang bagus seperti menghasilkan overshoot yang rendah sebesar 211.3 Volt dan osilasi sedikit berjumlah 3 lonjakan. Sistem juga mencapai nilai steady state dengan cepat pada waktu 2.1 sekon an error sebesar 1 volt.

Kata Kunci: *Fuel cell, PSO, PID, Boost converter*

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi yang semakin pesat dan naiknya gaya hidup manusia menyebabkan peningkatan yang signifikan dalam penggunaan energi terutama energi listrik. Namun, sebagian besar sumber energy listrik yang ada di dunia ini berasal dari konversi energy fosil, seperti batu bara. Padahal cadangan sumber fosil semakin menipis. Hal itu membuat penelitian tentang energi listrik yang berasal dari energi baru terbarukan terus-menerus dicari dan diteliti.

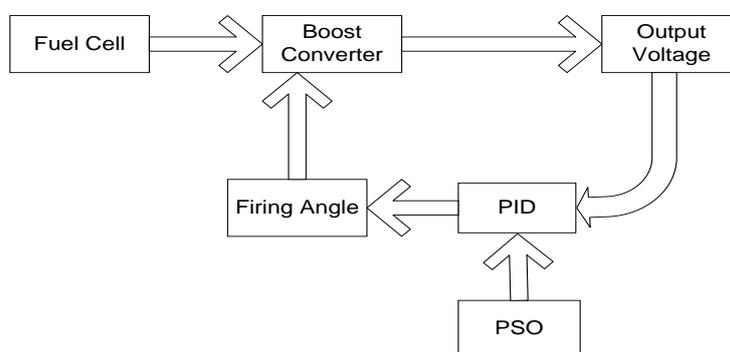
Sistem pembangkit terbarukan yang banyak diteliti saat ini wind turbine, sel surya/*photovoltaic*, biomassa, *micro-hidro*, dan *fuel cell*. Salah satu energi terbarukan yang sering dibandingkan dan disandingkan dengan sel surya adalah *fuel cell* karena termasuk peralatan energi terbarukan yang dapat dimobilisasi. (Rahmawan, A., dkk, 2018)

Fuel cell atau sel bahan bakar merupakan peralatan konversi energi berdasarkan proses elektrokimia yang mengubah oksigen dan hidrogen menjadi air dan juga sekaligus menghasilkan panas dan energi listrik secara kontinyu. Walau prinsip kerjanya sama dengan baterai, *fuel cell* tidak perlu melakukan charging karena mendapatkan bahan bakar dari luar. Selain itu, proses konversi energinya bersih, efisiensi tinggi dan tidak bising karena berdasarkan proses elektrolisis. (*Fuel Cell Hand Book*, 2000)

Fuel cell memiliki karakteristik output tegangan yang rendah dan arus yang tinggi, sehingga dibutuhkan kontrol tegangan untuk menyesuaikan tegangan keluaran *fuel cell* agar sesuai dengan kebutuhan beban/ sistem. Pengaturan itu dapat berupa konfigurasi cara pemasangan *fuel cell* dengan merangkai seri ataupun menambahkan *converter* DC-DC untuk menaikkan tegangan sebelum diubah menjadi tegangan bolak—balik oleh *inverter*. Dalam penelitian ini, digunakanlah *boost converter* untuk menaikkan tegangan keluaran dari *fuel cell*. Selanjutnya, karena diperlukan *output Boost converter* yang stabil agar dihasilkan tegangan AC yang halus, maka diterapkanlah sistem *close loop* dengan kontrol PID untuk menyesuaikan besaran tegangan keluaran *boost converter*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini membahas tentang pemodelan *proton exchange membrane* (PEM) *fuel cell* yang berkapasitas 24 KW dan terhubung dengan beban DC seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Blok diagram sistem *Multiple Proton Exchange Membrane Fuel cell*

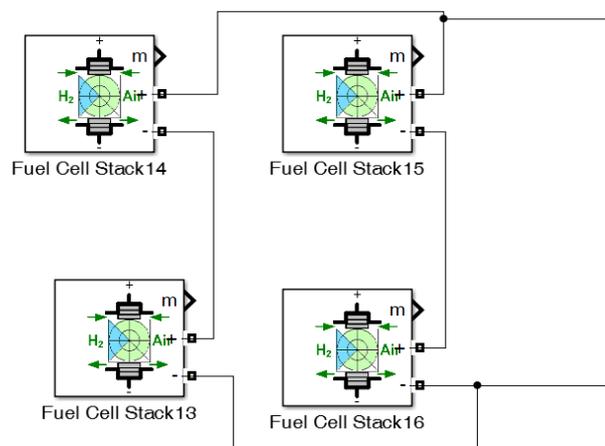
Pemodelan *Proton Exchange Membrane Fuel cell*

Tahap awal dalam pemodelan sistem ini dengan menerapkan *fuel cell* yang telah tersedia pada simulink library pada matlab dengan jenis PEM- *Fuel cell* yang mempunyai karakteristik sesuai yang tertulis pada Tabel 1.

Tabel 1
Karakteristik PEMFC 6 KW

Variabel	Nilai	Keterangan
Pnominal	6 kW	Daya nominal FC
Vnominal	45 V	Tegangan saat Pnominal
Pmaximum	8.35 kW	Daya maximum FC
Vmaximum	45 V	Tegangan saat Pmaximum
Inominal	133.3 A	Arus saat Pnominal
R	0.3375 Ω	Tahanan modul fuel cell/ tahanan saat Pnominal
Cell	65	banyaknya cell dalam satu modul fuel cell
H	55%	

Penentuan banyaknya *fuel cell* yang digunakan dalam satu modul *fuel cell (array)* dapat ditentukan apabila telah ditentukan besarnya tingkat kebutuhan daya dan tegangan pada sistem tersebut. Dengan kebutuhan suplai daya sebesar 24 KW dan kita tentukan besarnya tegangan *output* FC adalah 90 volt (tegangan ini juga sebagai input *Boost converter*), maka dipilih pemodelan *fuel cell array* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan *fuel cell array* dalam simulink

Pemodelan *Boost Converter*

Secara umum, *boost converter* memiliki dua bagian penting yaitu kapasitor dan inductor. Supaya *boost converter* dapat beroperasi dalam mode *continuous conduction mode* (CCM), maka nilai induktansi L harus dihitung sesuai rumus (1) dengan L harus lebih besar atau sama dengan L_b [1].

$$L_b = \frac{(1 - D)^2 DR}{2f} \quad (1)$$

Parameter ke dua C digunakan sebagai filter. Semakin besar nilai C semakin kecil ripple yang dihasilkan. Untuk memenuhi ripple tegangan maksimum sebesar V_r nilai C harus lebih besar atau sama dengan nilai C_{min} pada persamaan (2).

$$C_{min} = \frac{DV_o}{V_r Rf} \quad (2)$$

Setelah ditemukan nilai L_b dan C_{min} sesuai perumusan di atas, langkah selanjutnya adalah mencoba secara “*random*” nilai dari L dan C hingga mencapai nilai tegangan keluaran yang *steady state* pada titik 220 volt. Hingga pada akhirnya ditentukan nilai $L = 5 \times 10^{-5}$ H dan $C = 2200 \times 10^{-3}$ F.



Untuk menjaga nilai kestabilan tegangan keluaran dari boost converter, digunakan sistem pengontrolan PID yang nilai-nilai dari PID ditala menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO). Setpoint tegangan keluaran dari boost converter disetting sebesar 220 V.

Particle Swarm Optimization

Tahap Algoritma ini terinspirasi dari perilaku populasi burung dan ikan dalam mencari makan. Dalam algoritma PSO, populasi burung dan ikan disebut swarm. Sedangkan individu burung dan ikan disebut partikel. Kecepatan gerak tiap partikel dirumuskan dengan persamaan (7). Dan jarak perpindahan partikel dari posisi awal ke partikel terbaik ditentukan oleh (8).

$$v_i^{k+1} = v_i + c_1 r_1 (Pbest_i - x_i^k) + c_2 r_2 (Gbest - x_i^k) \quad (7)$$

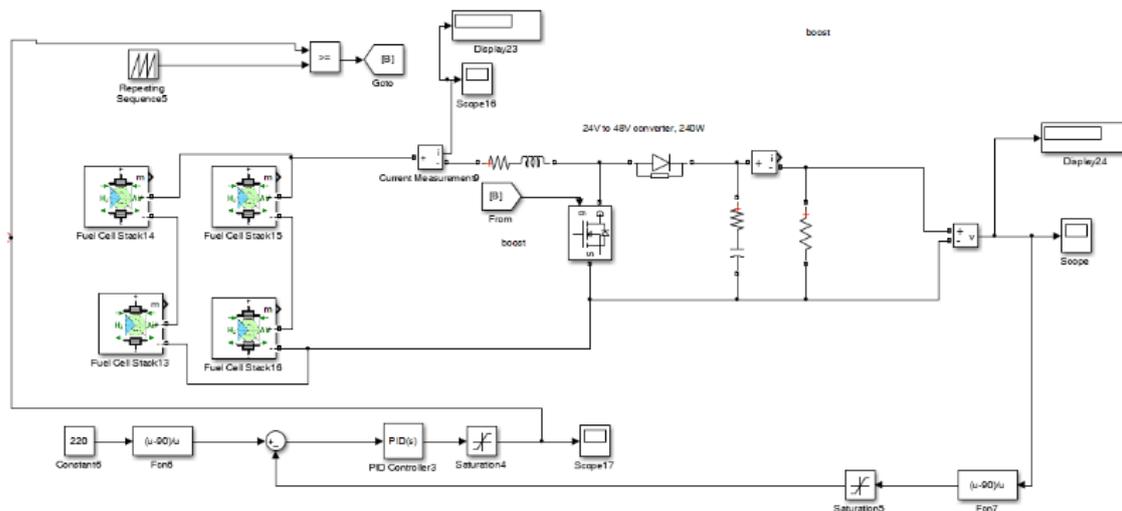
$$x_i^{k+1} = x_i + v_i^{k+1} \quad (8)$$

Dengan v adalah kecepatan tiap partikel ke posisi terbaik, x adalah posisi tiap partikel, i adalah tiap partikel, k adalah jumlah iterasi, c_1 dan c_2 adalah jumlah konstanta, P_{best} adalah posisi terbaik yang pernah dicapai setiap partikel, G_{best} adalah posisi terbaik dicapai setiap iterasi, dan r_1 dan r_2 adalah bilangan acak.

Besarnya kawanan atau populasi yang dipilih sangat bergantung pada masalah yang dihadapi. Dalam kasus ini, dipilih jumlah partikel sebanyak 6 partikel dengan iterasi sebanyak 40 iterasi. Nilai koefisien percepatan c_1 adalah 2.05, c_2 sebesar 1.01 dan w sebesar 1.05. Batas bawah dan batas atas untuk masing-masing K_p , K_i dan K_d secara berturut-turut adalah 0-8.55, 0-6.25 dan 0-0.55.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

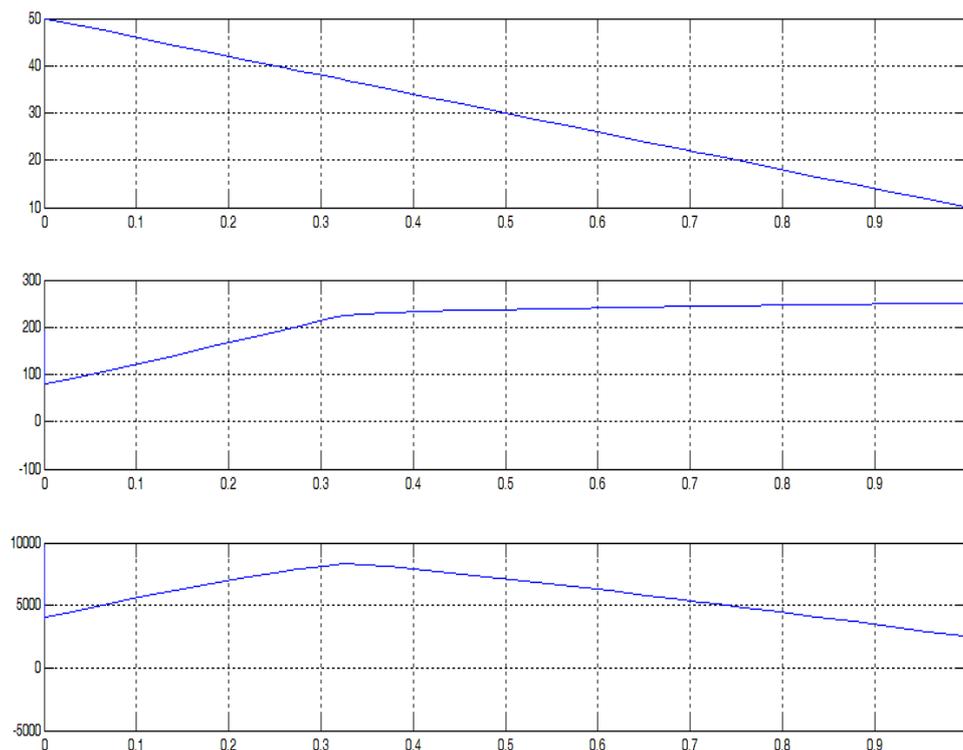
Sistem energi terbarukan yang terdiri dari *fuel cell*, *boost converter*, dan beban resistor, dirangkai sedemikian rupa sehingga antar komponen dapat terhubung dengan baik seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi sistem *fuel cell* yang terhubung beban

Karakteristik Fuel cell 6 kW

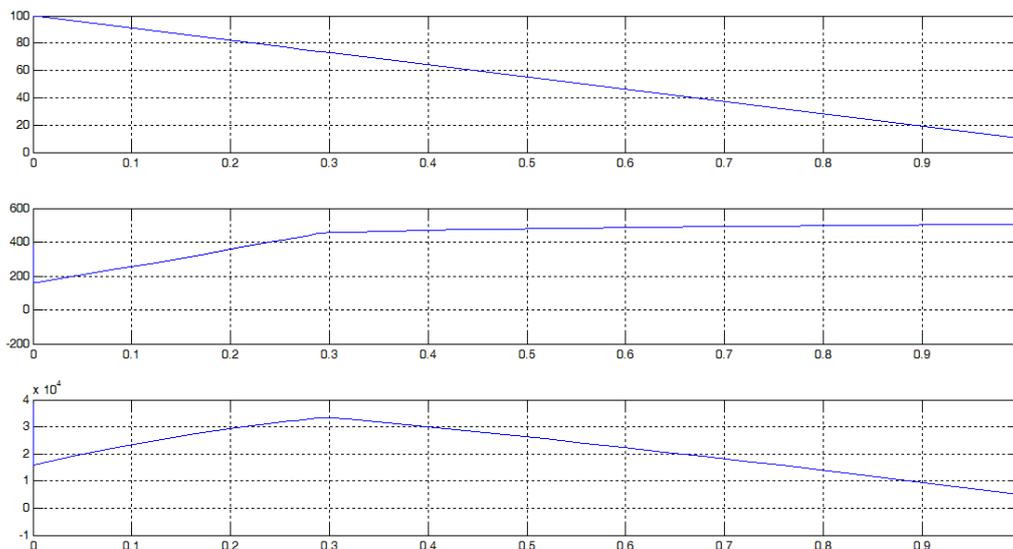
Konfigurasi sistem ini memanfaatkan *fuel cell* untuk mensuplai kebutuhan daya listrik. Jenis *fuel cell* yang digunakan adalah PEM- *fuel cell* dengan kapasitas 6 KW. Kondisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 mengilustrasikan proses distribusi listrik dari fuel cell menuju beban. Sebelum menguji *fuel cell* pada sistem secara langsung, perlu diketahui terlebih dahulu karakteristik dari *fuel cell* yang digunakan.



Gambar 4. Kurva karakteristik (dari atas) tegangan, arus dan daya *fuel cell* 6 KW

Gambar 4 menunjukkan nilai karakteristik *fuel cell* yang membandingkan antara perubahan tegangan dan efeknya pada perubahan arus dan daya *fuel cell*. Nilai tegangan *fuel cell* disimulasikan menurun dari 50 Volt sampai 10 Volt sehingga didapatkan grafik perubahan arus dan daya *fuel cell*. Dari hasil simulasi, terlihat bahwa daya nominal *fuel cell* 6 kW dan arus nominal 133,33 A didapatkan saat tegangan keluaran *fuel cell* 45 V. Lalu, saat tegangan *fuel cell* 37 Volt, didapatkan daya maksimum sebesar 8331,7 W. Pada titik itu, arus yang naik tajam sampai bernilai 225 A, selanjutnya melandai. Dengan menggunakan rumus ohm biasa, akan kita dapatkn bahwa besar hambatan R beban saat daya nominal adalah sebesar 0.3375 ohm dan R saat daya maksimum sebesar 0.164 ohm.

Karakteristik *Fuel cell* 24 kW



Gambar 5. Kurva karakteristik tegangan, arus dan daya *fuel cell* 24 KW

Gambar 5 menunjukkan nilai karakteristik fuelcell 48 KW. Karena *fuel cell* 48 kW dirangkai secara seri dua *fuel cell* 6 kW, sehingga mempunyai karakteristik tegangan nominal dan maksimal sebesar dua kali tegangan satu *fuel cell*. Dari hasil simulasi, didapatkan tegangan nominal sebesar 90 Volt untuk daya nominal 24 kW dan arus nominal 266 A. Sedangkan, pada saat tegangan 7 Volt, didapatkan daya maksimum *fuel cell* sebesar 33,2 kW dan arus sebesar 450 A.

Simulasi *Boost Converter*

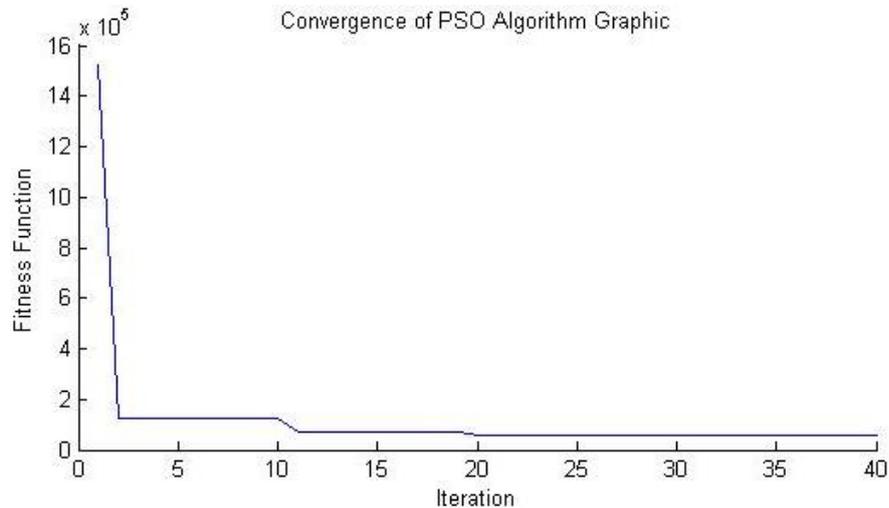
Untuk mengetahui kecepatan respon dan kemampuan *boost converter* menuju titik *steady state* pada tegangan 220 volt maka *duty cycle* diubah-ubah dari kecil sampai paling besar dengan beban 10 Ohm. Hasil dari simulasi tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2
Hasil simulasi *boost converter* dengan mengubah *duty cycle*

Duty Cycle	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Waktu pencapaian steady state (s)
10%	129.1	12.9	1666	0.2
25%	152.6	15.2	2327	0.2
35%	172.2	17.2	2967	0.2
50%	215.9	21.6	4662	0.21
60%	256.4	25.6	6572	0.21
70%	315.7	31.5	9966	0.27
80%	381.3	38.1	14550	0.27

Simulasi *Particle Swarm Optimization*

Gambar 6 berikut ini menunjukkan grafik konvergensi dari algoritma *Particle Swarm Optimization*. Grafik ini dipilih salah satu dari beberapa kali simulasi.

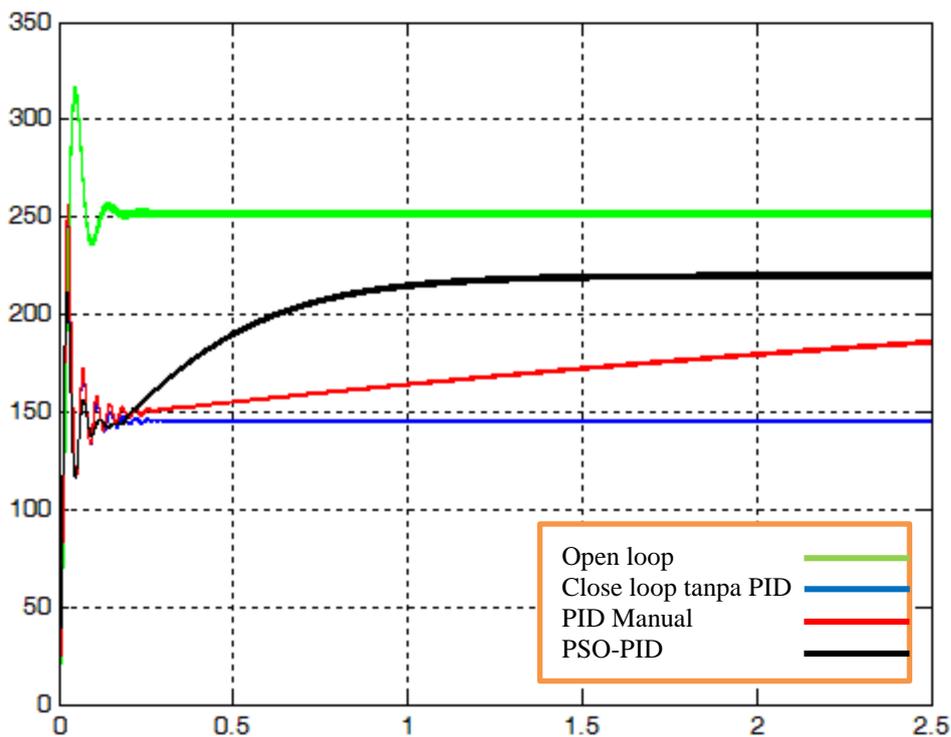


Gambar 6. Grafik konvergensi PSO

Dari gambar di atas terlihat bahwa PSO mencapai nilai obyektif terbaik pada iterasi ke-20. Setelah iterasi ke-20, PSO tidak mengalami penurunan nilai fitness lagi. Hal itu dapat diartikan bahwa PSO telah terjebak dalam posisi konvergensi lokal sehingga tidak dapat menemukan posisi terbaik global yang baru.

Simulasi Sistem Keseluruhan

Simulasi keseluruhan dilakukan setelah didapatkan nilai PID dari algoritma PSO. Selanjutnya PID dari hasil algoritma PSO ini disimulasikan dan dibandingkan dengan simulasi PID yang didapatkan secara manual dan acak, dan dibandingkan juga dengan sistem close loop tanpa PID. PID yang didapatkan dari PSO adalah 0, 5.25 dan 0. PID yang ditala secara manual diatur secara standard, yakni 1, 1, dan 0. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Grafik tegangan keluaran *boost converter*

Dari hasil simulasi dapat diketahui, sistem PSO-PID menghasilkan *overshoot* yang rendah dan osilasi yang sedikit. *Overshoot* diketahui sebesar 211.3 Volt dan osilasi berjumlah 3 lonjakan. Sistem juga mencapai nilai steady state dengan cepat pada waktu 2.1 sekon. Perbandingan hasil simulasi dari sistem-sistem yang diuji dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3
Hasil simulasi *boost converter* dengan mengubah *duty cycle*

Parameter	Open loop	Tanpa PID	PID manual	PSO-PID
Overshoot (V)	313.4	254.5	255.6	211.3
Jumlah osilasi	2	6	6	3
Steady state (Sekon)	0.36	0.45	> 2.5	2.1
Error (V)	32	74.6	34	1

Dari hasil perbandingan dari keempat sistem yang telah disimulasikan tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai PID yang ditala menggunakan PSO menghasilkan sistem yang lebih handal dibandingkan dengan sistem lainnya,

4. KESIMPULAN

Dari analisis hasil simulasi serta pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil pemodelan *fuel cell* 48 Kw yang dirangkai secara seri serta paralel diperoleh karakteristik V-I yang mirip dengan karakteristik V-I *fuel cell* 6 KW dan memiliki pola tertentu. Dari pola ini, kita dapat memperkirakan karakteristik *fuel cell* dengan kapasitas lainnya yang terdiri dari *fuel cell* 6 kW. Selanjutnya, dari hasil simulasi didapatkan nilai PID dari algoritma PSO. Sistem yang menggunakan PID dari algoritma PSO (PSO-PID) menghasilkan overshoot yang rendah sebesar 211.3 V dan osilasi yang sedikit sebanyak 3 lonjakan. Selain itu sistem juga lebih cepat mencapai nilai *steady state* pada tegangan 220 V pada detik ke- 2.1 dan error kurang lebih 1 V.

Setelah didapatkan nilai PID yang handal, pada penelitian selanjutnya, sistem dapat diuji kembali dengan dihubungkan dengan *inverter* dan beban AC. Performansi dari sistem tersebut akan sangat bermanfaat pada penerapannya di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. J. Hatziadoniu, A. A. Lobo, F. Pourboghrat, and M. Daneshdoost, "A simplified dynamic model of grid-connected fuel-cell generators," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 17, no. 2, pp. 467–473, Apr. 2002
- [2] C. Wang, Student Member, M.H.Nehrir, Senior Member, and H. Gao, Member." Control of PEM Fuel Cell Distributed Generation Systems "IEEE Transactionson Energy Conversion, vol.21,no.2, 2006
- [3] EG&G Technical Services, Inc. "Fuel Cell Handbook (Fifth Edition)", U.S. Department of Energy, West Virginia, October 2000
- [4] El-Khattam, W., Salama M.M.A., "Distributed Generation Technologies, Definitions and Benefits", Elsevier Electric Power Systems Research 71, pp. 119–128, Canada, January, 2004

- [5] Fuel Cell Hand Book, 5th edition (2000). EG & G Services Parsons, Inc. Science Application International Corporation.
- [6] Hala Rslan, Mahrous Ahmed, Mohamed Orabi, Mohamed Youssef, “Development of Grid Connected Power Conditioner System Compatible with Fuel Cell Applications”, IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems, pp. 935-941, Canada, October, 2010
- [7] Jong-Soo Kim, Gyu-Yeong Choe, Byoung-Kuk Lee, Jae-Sun Shim, “Advanced Interchangeable Dynamic Simulation Model for the Optimal Design of a Fuel Cell Power Conditioning System”, Journal of Electrical Engineering & Technology Vol. 5, pp. 561-570, Korea, July, 2010
- [8] Lasseter, R. Tomsovic, K., Piagi, P., “Scenarios for Distributed Technology Applications with Steady State and Dynamic Models of Loads and Micro-Sources”, CERTS Report, 2000
- [9] Ma Su Su Hlaing, “Design of a Low Loss Inverter for Fuel Cell Application”, SIM University, May, 2010
- [10] Pratama, A., “Optimalisasi Sel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracker Sebagai Catu Daya Base Transceiver Station”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Agustus, 2010.
- [11] Perdana, P., & Saputra, S. (2000). Perbandingan Metode Bat Algorithm Dalam Tuning Optimal Parameter Pss Di Single Machine Infinite Bus (SMIB). 3(2), 123–129. <https://doi.org/10.32493/epic.v3i2.7624>
- [12] Rahmawan, A., Budiman, A. H., & Hermawan, F. (2018). Disain sistem kontrol dan operasi untuk proton exchange membrane. Jurnal Energi Dan Lingkungan, 14(2), 75–80.
- [13] RashidM.H, “PowerElectronics Handbook”, AcademicPress, 2001.

- [14] Surya, P. P., Irawan, D., & Zuhri, M. (2018). Review and comparison of DC-DC converters for maximum power point tracking system in standalone photovoltaic (PV) module. Proceeding - ICAMIMIA 2017: International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation, 242–247. <https://doi.org/10.1109/ICAMIMIA.2017.8387595>
- [15] Yong Wang, Xu Cai, “DC Link Voltage Optimized Control for Efficient Residential Fuel Cell Converter”, Elsevier Electrical Power and Energy Systems 32,pp.1031–1036,China,February, 2010