

# Characteristics of Direct-Coupling Fuel Cell Injection in Renewable Energy Hybrid Power Generation Electrical Systems

## Karakteristik Injeksi Fuel Cell Secara Direct-Coupling Pada Sistem Kelistrikan Pembangkit Hibrida Energi Terbarukan

Indah Sulistiyowati<sup>1</sup>, Jamaaluddin Jamaaluddin<sup>2</sup>, Izza Anshory<sup>3</sup>

indah\_sulistiyowati@umsida.ac.id

<sup>1</sup> Faculty of Technology, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

**Abstract.** Currently, Fuel Cell technology is widely used as a supporting technology for energy storage systems in the electrical system. With the widespread use of renewable energy as an energy source today, several schemes have been tried for the installation of Fuel Cells after the converter, but the performance of the Fuel Cells is not very helpful because the response time is not significant enough to raise power requirements when input intermittent occurs (on a time scale of seconds). . In this study, a simulation of the installation of a fuel cell was carried out in an isolated electrical system (off-grid) containing solar panels. To increase the performance of the Fuel Cell, the installation will be carried out by Direct-Coupling before the converter. The results of this study indicate that the installation of Direct-Coupling can help improve the performance of Fuel Cells in off-grid renewable energy electrical systems.

**Keywords:** fuel cell, direct-coupling, hybrid renewable energy

**Abstrak.** Saat ini teknologi Fuel Cell banyak dimanfaatkan sebagai teknologi pendukung untuk sistem penyimpanan energi pada sistem kelistrikan. Dengan maraknya penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi saat ini, beberapa skema telah dicoba untuk pemasangan Fuel Cell sesudah konverter, namun performa Fuel Cell tidak terlalu banyak membantu karena waktu respon yang kurang signifikan untuk mengangkat kebutuhan daya saat terjadi intermitensi input (dalam skala waktu sekon). Pada penelitian ini dilakukan sebuah simulasi pemasangan Fuel Cell pada sistem kelistrikan terisolasi (secara off-grid) yang berisi panel surya. Untuk peningkatan performa Fuel Cell, pemasangan akan dilakukan secara Direct-Coupling sebelum konverter. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan pemasangan Direct-Coupling dapat membantu peningkatan performa Fuel Cell pada sistem kelistrikan energi terbarukan secara off-grid.

**Kata kunci:** fuel cell, direct-coupling, energi terbarukan hibrida

### 1 Pendahuluan

Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber yang tidak habis atau dapat diisi kembali dalam jangka waktu seumur hidup manusia. Contoh yang paling umum termasuk angin, matahari, panas bumi, biomassa, dan tenaga air. Hal ini berbeda dengan sumber tidak terbarukan seperti bahan bakar fosil.

Sementara energi terbarukan sering dianggap sebagai teknologi baru, pemanfaatan energi alam telah lama digunakan untuk pemanasan, transportasi, penerangan, dan banyak lagi. Tetapi selama sekitar 500 tahun terakhir, manusia semakin beralih ke sumber energi yang lebih murah dan lebih kotor seperti batu bara dan gas [1].

Fuel cell atau sel bahan bakar adalah salah satu penyimpan energi satu set, dimana sel bahan bakar dan electrolyzer bekerja bersama sebagai penyimpan energi yang memiliki lifecycle yang tinggi dan berkapasitas sangat besar.

Salah satu permasalahan yang terjadi adalah aspek kestabilan sistem kelistrikan off-grid energi terbarukan yang terpasang fuel cell memiliki tingkat kualitas daya yang kurang stabil terhadap intermitensi input dari iradiansi matahari.

Solusi yang telah ada yaitu dengan modifikasi converter, meskipun telah melakukan modifikasi dengan converter namun tingkat kestabilan daya dalam waktu singkat masih belum dapat terselesaikan. Solusi baru yang ditawarkan dalam penelitian ini yaitu dengan cara mengubah penempatan fuel cell menjadi terpasang secara direct-coupling bersama dengan pembangkit. Secara teori pemasangan direct-coupling dapat mengompensasi ketidakstabilan dalam waktu singkat sebagai solusi injeksi fuel cell pada sistem kelistrikan energi terbarukan. Aspek kestabilan akan dievaluasi pada sisi beban, dari aspek tegangan, arus, dan daya. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat membantu kontribusi keilmuan khususnya dalam bidang energi terbarukan.

## 2 Kajian Pustaka

Hal-hal yang perlu dipelajari terlebih dahulu dapat dievaluasi pada kajian pustaka dan dasar teori berikut. Hal yang akan dibahas disini adalah panel surya, fuel cell, sistem penyimpanan energi hibrida baterai dan superkapasitor.

### 2.1 Panel Surya

Sistem Panel Surya atau dikenal dengan PV (Photovoltaic) merupakan suatu sistem yang dapat mengubah energi matahari menjadi listrik, yaitu dengan cara energi yang ada pada foton (cahaya) menjadi tegangan listrik menggunakan photovoltaic. Dari bahan elektron (photovoltaic) tersebut akan dibebaskan dari atomnya dengan foton yang memiliki panjang pendek gelombang dan energi tinggi dibawah sinar matahari. Saat medan listrik terdekat ditambahkan, maka elektron akan bergerak ke kontak logam dan mengakibatkan terbentuknya arus listrik [7]. Sistem PV Off-Grid ini bisa dibagi beberapa kategori, ada menggunakan battery, tanpa baterai, bahkan sistem hybrid. Jika menggunakan baterai, tentu permintaan daya yang disediakan oleh sistem lebih besar. Karena radiasi matahari tidak tersedia setiap saat, seperti malam hari atau hari berawan, baterai menjadi salah satu solusi terbaik untuk menjaga permintaan beban. Baterai menyimpan daya ekstra yang dihasilkan ketika radiasi matahari berlimpah bahwa energi dapat digunakan ketika radiasi matahari tidak tersedia.

### 2.2 Fuel Cell

Sel bahan bakar adalah perangkat yang menghasilkan listrik melalui reaksi kimia. Setiap sel bahan bakar memiliki dua elektroda yang disebut, masing-masing, anoda dan katoda. Reaksi yang menghasilkan listrik berlangsung di elektroda.

Setiap sel bahan bakar juga memiliki elektrolit, yang membawa partikel bermuatan listrik dari satu elektroda ke elektroda lainnya, dan katalis, yang mempercepat reaksi di elektroda.

Hidrogen adalah bahan bakar dasar, tetapi sel bahan bakar juga membutuhkan oksigen. Salah satu daya tarik besar sel bahan bakar adalah bahwa mereka menghasilkan listrik dengan polusi yang sangat sedikit – sebagian besar hidrogen dan oksigen yang digunakan dalam menghasilkan listrik akhirnya bergabung untuk membentuk produk sampingan yang tidak berbahaya, yaitu air. Satu detail terminologi: sel bahan bakar tunggal menghasilkan sejumlah kecil arus searah (DC). Dalam praktiknya, banyak sel bahan bakar biasanya dirakit menjadi tumpukan. Sel atau tumpukan, prinsipnya sama.

### 2.3 Sistem Penyimpan Energi Hibrida Baterai dan Superkapasitor

Baterai merupakan salah satu peralatan penyimpanan energi yang paling banyak digunakan dalam bidang kelistrikan, terutama pada sistem fotovoltaik yang berdiri sendiri. Setiap baterai terdiri dari Terminal Positif (katoda) dan Terminal Negatif (Anoda), serta elektrolit yang bertindak sebagai saluran. Keluaran arus listrik dari baterai adalah Direct Current atau DC (Direct Current). Jenis baterai Lead Acid adalah jenis baterai yang cocok untuk sistem panel surya. Hal ini jelas karena dengan menggunakan baterai Lead Acid, pengguna dapat memanfaatkan energi listrik yang tersimpan dalam baterai (discharge) ketika panel surya tidak mendapatkan sinar matahari. Sebaliknya, ketika ada matahari, baterai akan diisi oleh panel surya.

Superkapasitor adalah kapasitor yang memiliki nilai kapasitansi jauh melebihi kapasitor lain (tetapi dengan batas tegangan yang lebih rendah), dan dapat dianggap sebagai perantara antara kapasitor elektrolitik (biasa) dan baterai isi ulang. Superkapasitor dianggap sebagai penyimpanan sistem kelistrikan karena memiliki dua frekuensi kerja. Ketika superkapasitor diberi frekuensi kerja rendah, ia bekerja sebagai kapasitor biasa (memiliki kapasitansi karakteristik). Namun, jika superkapasitor diberi frekuensi stabil 50 Hz hingga 60 Hz, beroperasi dengan karakteristik resistif. Superkapasitor dapat menyimpan 10 hingga 100 kali lebih banyak per muatan kubik daripada kapasitor elektrolitik, dapat menerima dan mendistribusikan muatan lebih cepat daripada baterai, dan memiliki toleransi siklus yang lebih baik daripada baterai yang dapat diisi ulang [5]. Kombinasi dari hibrida kedua sistem penyimpanan energi yang dinilai sudah cukup baik untuk sistem kelistrikan off-grid akan digunakan sebagai penyimpanan energi pada penelitian ini.

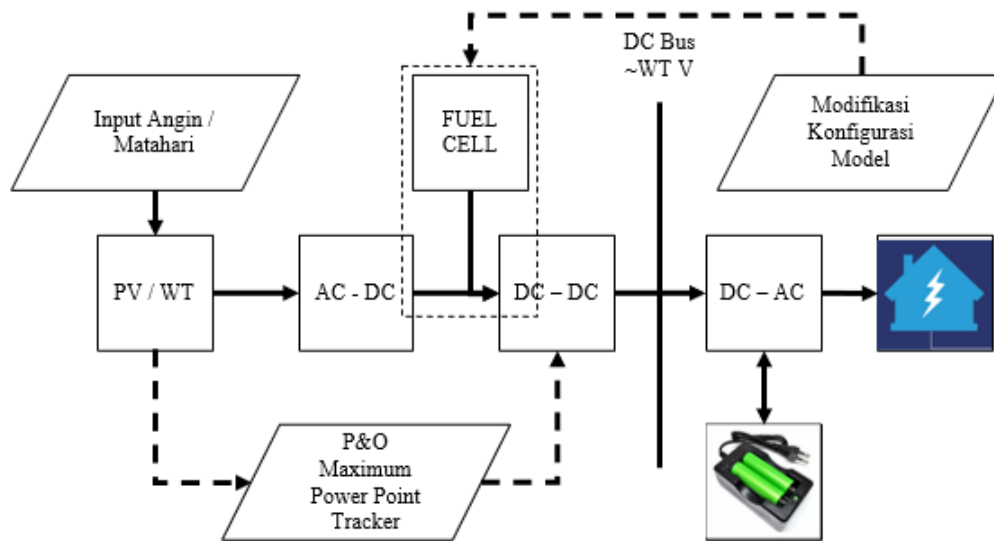


Fig. 1. Skematik diagram yang diusulkan pada penelitian.

### 3 Metode dan Metodologi

Ada dua metode yang penting yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Direct-Coupling dan Perturb and Observe (P&O). Untuk metode yang lain akan dijelaskan akan dibutuhkan satu skema simulasi yang akan dipakai dalam penelitian ini, salah satunya adalah skematik diagram yang ditunjukkan pada gambar 1.

#### Direct-Coupling

Dalam elektronik, kopling langsung atau kopling DC adalah transfer energi listrik melalui kontak fisik melalui media konduktif, berbeda dengan kopling induktif dan kopling kapasitif. Ini adalah cara interkoneksi dua sirkuit sehingga kedua komponen terpisah akan berada pada satu nodes, dan memiliki satu tingkat tegangan yang sama dalam satu bus.

Dalam penelitian ini, direct-coupling diaplikasikan pada fuel cell yang diinjeksikan secara langsung pada bus pembangkit energi terbarukan.

#### Perturb and Observe

Algoritma Perturb and Observe (P&O) sering digunakan dalam pencarian titik Maximum Power Point (MPP) pada PV. Metode ini dapat digunakan untuk berbagai tipe karakteristik dari PV [3] dan tidak memerlukan informasi mengenai karakteristik sistem turbin angin.[6] Namun, metode P&O memiliki kekurangan yaitu pada kondisi steady state terdapat osilasi yang disebabkan karena tidak ada perubahan pada duty cycle.

Algoritma Perturb and Observe (P&O), diawali dengan pembacaan data awal oleh sensor berupa tegangan  $V(k)$  dan arus  $I(k)$ . Didapatkan besaran daya yang dihitung melalui perkalian data awal tersebut. Kemudian algoritma selanjutnya adalah perturb pada sisi tegangan output PV dan observe nilai perubahan daya ( $dP$ ). Jika nilai tegangan dinaikkan didapatkan daya yang semakin naik, maka perturb akan dilanjutkan dengan menaikkan nilai  $V_{ref}$ . Sebaliknya, apabila pada saat nilai tegangan dinaikkan dan didapatkan daya yang semakin turun, maka nilai  $V_{ref}$  akan diturunkan. Algoritma ini berlanjut sampai didapatkan nilai daya paling tinggi. [8].

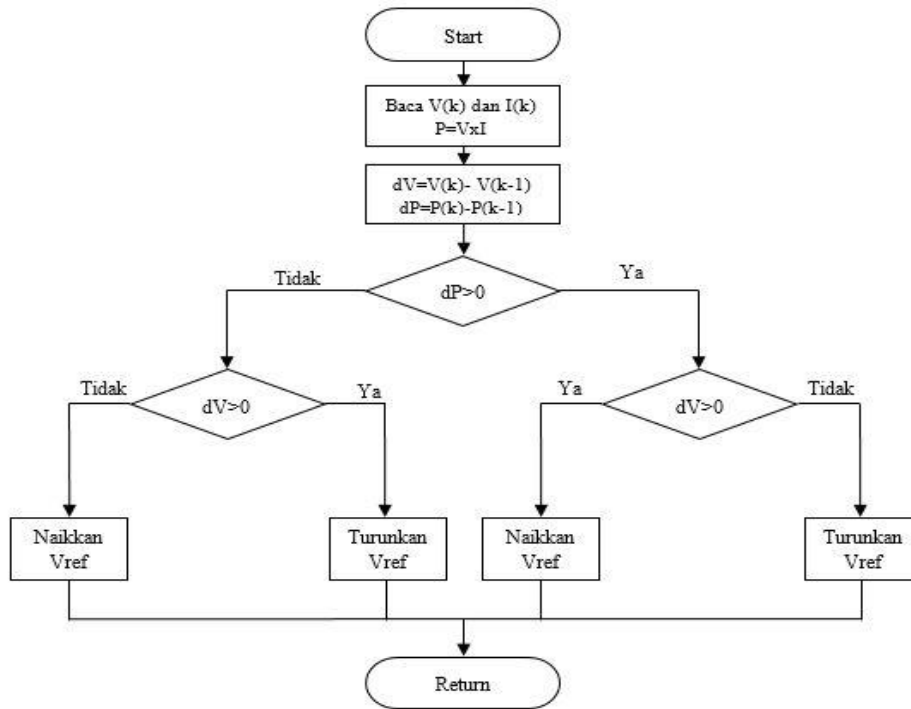


Fig. 2. Flowchart Algoritma Perturb and Observe.

**Teknis Simulasi**

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang teknis simulasi yang akan dilakukan. Dari beberapa bagian yang ada dapat dinyatakan bahwa dilakukan simulasi koneksi PV terlebih dahulu untuk mendapatkan hasil kendali yang optimal.

Sistem yang dimodelkan berisi empat bagian rangkaian. Bagian pertama adalah PV, PV yang digunakan dalam pemodelan adalah tipe yang diberikan dari direktori MATLAB, dan untuk input iradiansi dan temperatur di set demikian.

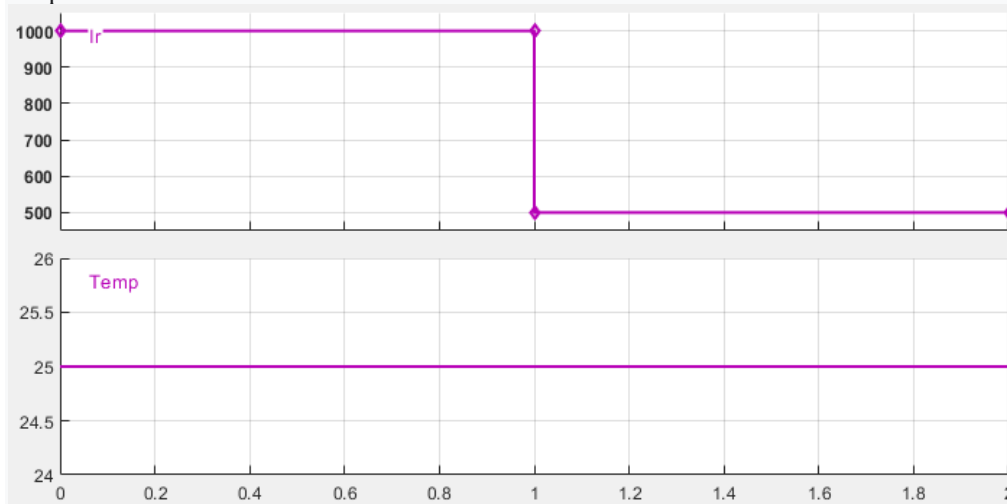


Fig. 3. Parameter PV yang digunakan untuk simulasi.

PV dimodelkan dengan penggunaan dioda untuk perlindungan yang lebih baik dari jaringan beban jika ada kondisi tidak stabil yang terjadi di jaringan. Fault tidak diperhitungkan dalam simulasi ini.

Array PV terdiri dari Nparalel string modul yang terhubung secara paralel, setiap string terdiri dari modul Nseries yang terhubung secara seri.

Empat parameter model PV ( $I_{ph}$  arus yang dihasilkan PV, arus saturasi dioda Isat, resistansi paralel  $R_p$  dan resistansi seri  $R_s$ ) disesuaikan agar sesuai dengan empat karakteristik modul berikut yang diukur dalam kondisi pengujian standar (STC : irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, suhu sel = 25 °C) dan dengan asumsi diberikan "faktor kualitas dioda" ( $Q_d$ ) untuk semikonduktor:

$V_{oc}$  = tegangan rangkaian terbuka;  $I_{sc}$  = arus hubung singkat;  $V_{mp}$  ,  $I_{mp}$  = tegangan dan arus pada titik daya maksimum.

Array data	
Parallel strings	4
Series-connected modules per string	2
Module data	
Module:	Waaree Energies WU-120
Maximum Power (W)	120.7
Cells per module (Ncell)	72
Open circuit voltage Voc (V)	21
Short-circuit current Isc (A)	8
Voltage at maximum power point Vmp (V)	17
Current at maximum power point Imp (A)	7.1
Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)	-0.358
Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)	0.052

Fig. 4. Model Rangkaian Block Diagram PV.

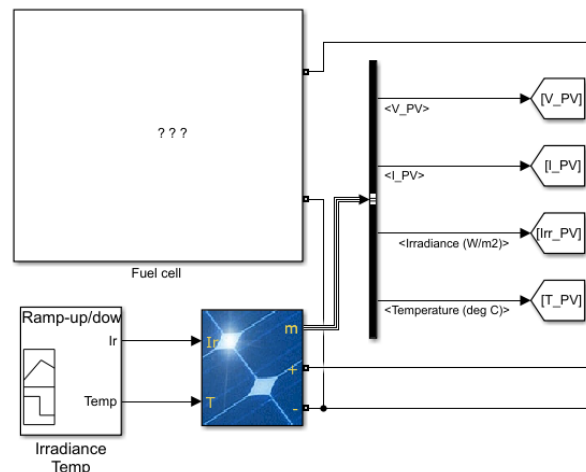
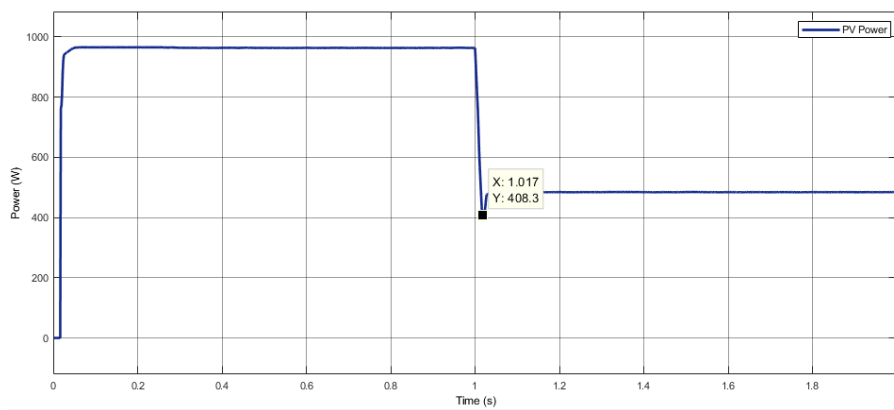


Fig. 5. Teknis Simulasi Injeksi Fuel Cell pada Bus PV.

Pelacak Titik Daya Maksimum (MPPT) oleh logika P&O dimodelkan dengan mfile seperti pada di gambar. Setelah keluaran MPPT oleh P&O, penggunaan IGBT adalah untuk memaksimalkan keadaan ketika input memberikan output terbaik dengan input referensi tegangan melalui duty cycle yang ada dari input P&O.

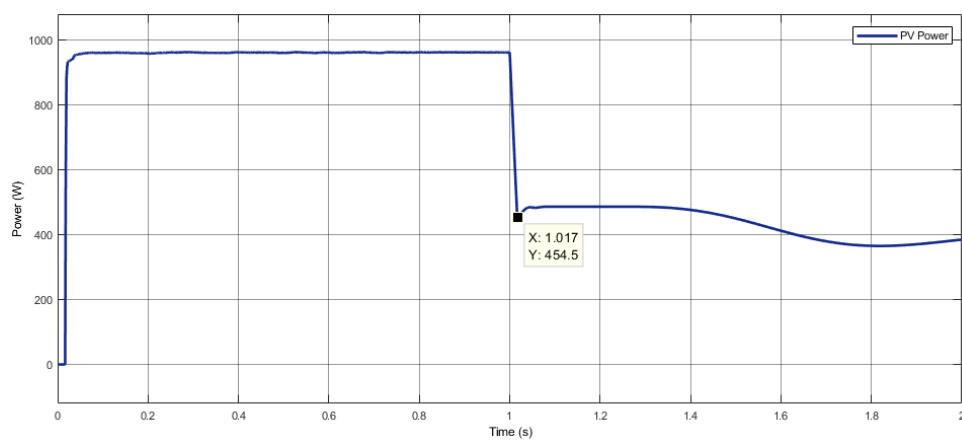
#### 4 Hasil Simulasi dan Analisa

Berikut adalah hasil simulasi dan analisa karakteristik kestabilan daya sebelum dan setelah injeksi fuel cell pada bus PV. Ada 3 aspek daya yang akan dievaluasi yaitu daya pada panel surya, daya pada load, dan daya pada penyimpanan energi.



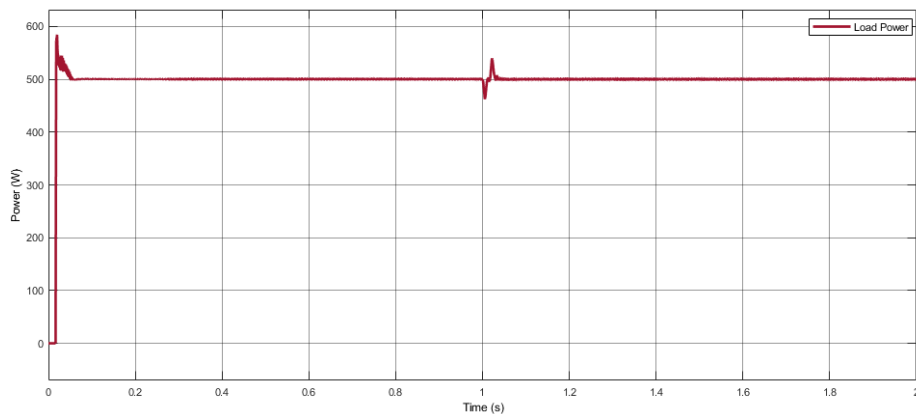
**Fig. 6.** Grafik daya panel surya pada simulasi sebelum injeksi fuel cell.

Daya panel surya pada saat iradiansi optimal adalah 962 W, dan pada saat iradiansi mengalami perubahan dan mengalami undershoot pada 408 W, kemudian steady pada 450 W.



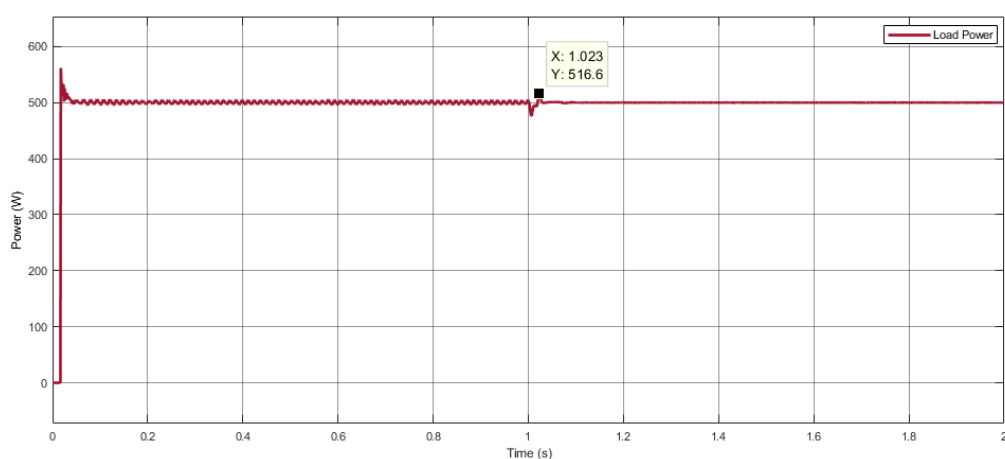
**Fig. 7.** Grafik daya panel surya pada simulasi setelah injeksi fuel cell.

Sedangkan pada saat setelah injeksi, iradiansi optimal menghasilkan daya yang sama pada 962 W. Namun perbedaan terdapat pada kompensasi undershoot menjadi 454 W, namun mengikuti alur pengisian fuel cell yang juga menyumbang dayanya untuk kebutuhan beban.



**Fig. 8.** Grafik daya beban pada simulasi sebelum injeksi fuel cell.

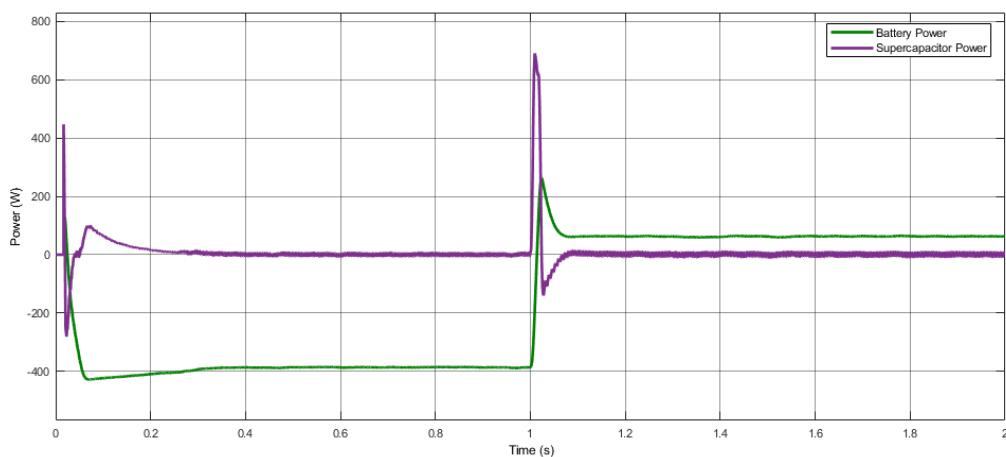
Daya pada beban pada saat iradiansi optimal berfluktuasi diantara 498 W dan 502 W. Kemudian terdapat undershoot menjadi 462 W diikuti overshoot hingga mencapai 540 W, yang dilanjutkan dengan steady di 500 W.



**Fig. 9.** Grafik daya beban pada simulasi setelah injeksi fuel cell.

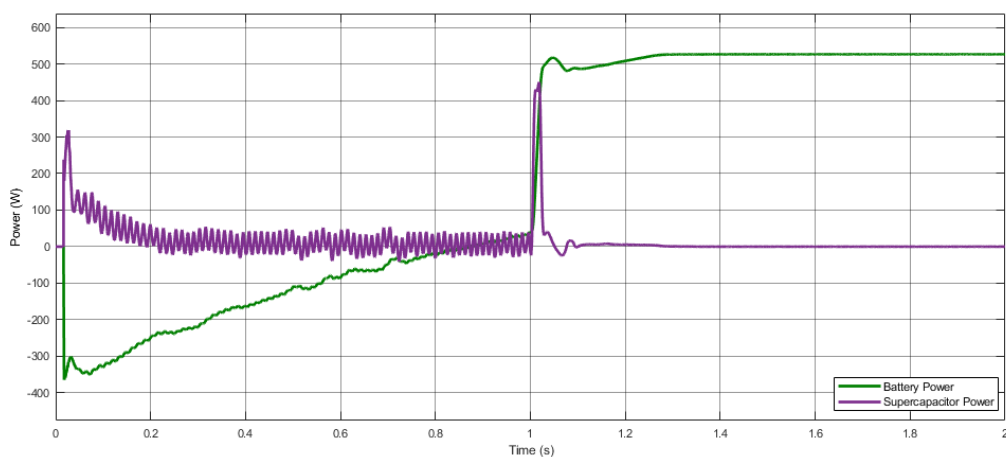
Sedangkan pada daya setelah injeksi, daya beban pada saat iradiansi optimal menjadi diantara 496 W dan 504 W. Ini melebarkan jangkauan fluktuasi dari  $\pm 2$  W menjadi  $\pm 4$  W. Meskipun demikian, undershoot dapat diminimalisasi menjadi 476 W, dan overshoot hanya menjadi 517 W, yang kemudian dilanjutkan steady 500 W.

Ini sesuai dengan tujuan awal yaitu meningkatkan kestabilan daya waktu singkat pada saat terjadi perubahan iradiansi, namun adapun yang harus menjadi kekurangan, yaitu naiknya jangkauan fluktuasi saat iradiansi optimal, ini dikarenakan aliran daya pada bus pembangkit mengalami peningkatan karena terdapat fuel cell yang injeksi.



**Fig. 10.** Grafik daya penyimpanan daya pada simulasi sebelum injeksi fuel cell.

Daya pada penyimpan energi baterai pada saat iradiansi optimal mengikuti kebutuhan dari beban, baik ketika surplus daya (masuk ke baterai, tanda minus) dan kemudian saat menyuplai daya ke beban. Sedangkan superkapasitor lebih memiliki peran pada saat perubahan iradiansi. Semua daya pada saat perubahan iradiansi diserap dan dilepas secara cepat oleh superkapasitor.



**Fig. 11.** Grafik daya penyimpanan daya pada simulasi setelah injeksi fuel cell.

Sedangkan pada daya setelah injeksi, superkapasitor memiliki peran tambahan yaitu meredam ripple yang disebabkan oleh injeksi fuel cell, namun beban superkapasitor sudah lebih sedikit pada saat perubahan iradiansi (dibuktikan dengan overshoot yang tidak setinggi saat sebelum injeksi). Di sisi lain, baterai akan mengikuti alur kebutuhan beban, sekaligus kebutuhan fuel cell. Sehingga ketika fuel cell butuh diisi, baterai akan melepaskan daya selain untuk menutup kebutuhan beban, juga untuk menutup kebutuhan fuel cell. Ini dapat dijelaskan karena dengan adanya injeksi fuel cell, juga berarti injeksi tambahan penyimpanan daya, sehingga kestabilan daya untuk penyimpanan daya dapat lebih terjamin khususnya untuk baterai.

## 5 Kesimpulan

Dapat disimpulkan dari hasil simulasi yang telah dilakukan bahwa dengan adanya injeksi fuel cell yang dipasang secara direct-coupling pada bus pembangkit, memiliki karakteristik sebagai berikut: meningkatkan kualitas daya waktu singkat saat terjadi perubahan iradiansi, dimana ini adalah tujuan utama penelitian ini; menambah penyimpanan daya sehingga kerja penyimpanan daya tidak terlalu berat, ini berdampak pada keawetan penyimpanan daya yang lain; menambah aliran daya pada bus pembangkit, yang mengakibatkan



naiknya fluktuasi daya pada beban (meskipun tidak terlalu signifikan, namun tetap berpengaruh); dan memberikan kontribusi daya yang lebih baik untuk beban.

## Referensi

- [1] Soediby, A. L. Setya Budi, F. A. Pamuji, S. Anam and M. Ashari, "Standalone Wind Turbine Power Stability Based on Battery and Supercapacitor Hybrid System," 2021 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic), 2021, pp. 360-364.
- [2] R. Delfianti, A. Soeprijanto, A. Priyadi, A. L. S. Budi and I. Abadi, "Energy Management Efficiency and Stability Using Passive Filter in Standalone Photovoltaic Sudden Cloud Condition," 2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), 2020, pp. 716-720.
- [3] M. Taoufik and S. Lassad, "Hybrid photovoltaic-fuel cell system with storage device control," 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS), 2017, pp. 1-6.
- [4] Soediby, S. Anam, M. Ashari, A. L. Setya Budi and A. Soeprijanto, "Voltage and Power Stability Characteristics for Photovoltaic Battery and Supercapacitor Hybrid System," 2020 1st International Conference on Information Technology, Advanced Mechanical and Electrical Engineering (ICITAMEE), 2020, pp. 111-116.
- [5] S. Agalya and R. Kavitha, "Implementation of hybrid cascaded multilevel inverter with photovoltaic cell and fuel cell," 2014 International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCCE), 2014, pp. 1-5.
- [6] Soediby, A. L. S. Budi, M. Ashari, H. Ridho and F. A. Pamuji, "Implementation Of Maximum Power Point Tracking Based On Perturb and Observe Algorithm For Photovoltaic, Wind Turbine, and Fuel Cell Hybrid System," 2020 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic), 2020, pp. 267-273.
- [7] S. Z. Nurul Haq, A. L. Setya Budi, Soediby and F. A. Pamuji, "Photovoltaic Sudden Cloud Compensation Device Using Modified LCL Filter Converter Configuration," 2021 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic), 2021, pp. 365-369.
- [8] S. V. M. Guaitolini, I. Yahyaoui, J. F. Fardin, L. F. Encarnaçao and F. Tadeo, "A review of fuel cell and energy cogeneration technologies," 2018 9th International Renewable Energy Congress (IREC), 2018, pp. 1-6.