

IMPLEMENTASI PENGGUNAAN SUPER KAPASITOR PADA SISTEM PLTS *OFF-GRID* SEBAGAI PENSTABIL BATERAI

Setyadi Tri Yoga¹, Isdawimah², Ikhsan Kamil³

^{1,2,3}Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
Jalan Prof. DR.G.A.Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok 16425

e-mail: setyadi.ty@gmail.com

ABSTRACT

This research was only carried out through SIMULINK software as a design simulation in implementing Super Capacitors on micro-scale solar power systems. The purpose of adding Super Capacitors in the simulation is to maintain battery consumption with a loading source in Off-grid mode which refers to the amount of electric current and voltage as a supply of energy supply. The use of a load with a sudden increase in load without an energy buffer component can affect the condition of the battery life which allows a decrease in the supply of electrical energy. Conditions after the installation of the Super Capacitor circuit to the battery can provide backup energy supply to the battery by injecting electric current charging with the nominal voltage limit maintained in the simulation of 12 V.

Keywords: *Off-grid PV, Super capacitors, Batteries*

ABSTRAK

Penelitian ini hanya dilakukan melalui *software* SIMULINK sebagai simulasi perancangan dalam menerapkan Super Kapasitor pada sistem PLTS skala mikro. Tujuan dari penambahan Super Kapasitor dalam simulasi adalah untuk mempertahankan pemakaian baterai dengan sumber pembebanan dalam mode *Off-grid* yang mengacu pada besaran arus dan tegangan listrik sebagai suplai dari penyediaan energi. Penggunaan beban dengan peningkatan beban secara mendadak tanpa komponen penyangga energi dapat mempengaruhi kondisi ketahanan baterai yang memungkinkan terjadinya penurunan suplai energi listrik. Kondisi setelah adanya pemasangan rangkaian Super Kapasitor terhadap baterai dapat memberikan suplai energi cadangan ke baterai dengan menginjeksi pengisian arus listrik dengan batas nominal tegangan yang dipertahankan dalam simulasi sebesar 12 V.

Kata kunci: PV Off-grid, Super kapasitor, Baterai

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan dengan sistem PLTS saat ini telah banyak digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik dan juga digunakan sebagai suplai untuk penyimpanan energi. Salah satu sistem yang dapat digunakan sebagai penyimpanan energi adalah sistem PLTS *Off-grid* yang dapat berdiri sendiri. Sistem PLTS *Off-grid* pada umumnya sudah banyak diterapkan

seperti pada sistem penerangan atau pada sistem lainnya terutama pada skala mikro.

Proses penyimpanan energi listrik dalam sistem PLTS dapat menggunakan baterai sebagai suplai utama dalam pemakaian beban. Selain digunakan untuk suplai beban, baterai juga dapat digunakan untuk cadangan energi listrik dalam kondisi darurat. Kelangsungan pemakaian baterai dapat ditentukan dari durasi pengoperasian beban beserta kapasitasnya. Penggunaan beban yang tidak sebanding dengan kapasitas baterai dapat

membuat baterai mengalami penurunan dari segi ketahanan dan umur dari pemakaian. Komponen baterai memiliki karakteristik pengoperasian yang dapat bekerja dalam waktu yang terbatas dan pengisian eneginya bekerja dengan jumlah tertentu [1]. Kondisi ini dapat menimbulkan keterbatasan pada proses penyimpanan energi disamping adanya pengaturan laju arus dan tegangan baterai menggunakan *Solar Charge Controller*. Terbatasnya mekanisme penyimpanan energi dapat mengganggu keandalan dari sistem PLTS *Off-grid* dan juga memerlukan penambahan baterai dari segi kuantitas dan kapasitas untuk meningkatkan suplai energi listrik tambahan yang juga diimbangi dengan pembiayaannya. Sebagai alternatif untuk mempertahankan penyaluran energi listrik ke beban maka dapat diberikan Super Kapasitor. Super kapasitor merupakan komponen yang terdiri dari lapisan ganda elektrokimia dengan kapasitansi yang sangat tinggi memiliki kinerja pelepasan energi yang sangat cepat sehingga dapat menghasilkan daya yang besar [2]. Komponen Super Kapasitor dapat digunakan untuk pengaturan tegangan DC bus [3],[4]. Super kapasitor yang disuplai melalui sistem PLTS juga dapat dimanfaatkan sebagai pengelolaan energi serta dapat mempertahankan energi [5]. Keberadaan dari komponen Super Kapasitor menjadi hal yang sangat penting dalam mengembangkan peluang baru untuk optimalisasi penyimpanan dan pemakaian energi listrik yang juga telah ditelusuri oleh Peneliti terdahulu dengan tujuan menguatkan ketersediaan sumber energi listrik. Pemasangan dari Super Kapasitor untuk PLTS memiliki kemungkinan yang dapat menggantikan posisi baterai dengan fungsi yang serupa untuk mengoperasikan beban. Peneliti terdahulu mengemukakan bahwa kombinasi pemasangan antara baterai dengan Super Kapasitor dapat menambah daya tahan baterai dan kinerja baterai [6], sehingga komponen Super Kapasitor harus mampu bekerja dengan kondisi *Hybrid* dan membuat kestabilan baterai dapat terjaga. Jika pengoperasiannya tidak terapkan maka dapat menyebabkan penurunan sisi tegangan baterai dalam menjaga kualitas pembebanan pada PLTS sehingga beban tidak terpenuhi terutama dalam kondisi peningkatan beban. Pendekatan dari sistem PLTS *Off-grid* dalam penelitian ini didesain melalui simulasi bertujuan untuk mengimplementasikan penempatan Super Kapasitor dalam memaksimalkan kinerja suplai energi pada baterai.

2. METODE PENELITIAN

Sistem yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan *software* SIMULINK dengan memakai model *single line diagram* dari sistem PLTS *Off-grid*. SIMULINK memiliki komponen simulasi energi terbarukan yang salah satunya adalah *PV Array*. Penyimpanan energi yang disediakan dalam simulasi dapat berupa baterai dan Super Kapasitor. Komponen *PV Array* yang dikembangkan pada simulasi menggunakan modul *Polycrystalline* dengan kapasitas kecil. Spesifikasi parameter dari sebuah modul yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Modul PLTS

<i>Solar Panel Polycrystalline</i>	
<i>Maximum Power</i>	20 W
<i>Maximum Power Voltage</i>	17.2 V
<i>Maximum Power Current</i>	1.16 A
<i>Open Circuit Voltage</i>	20.64
<i>Short Circuit Current</i>	1.3 A
<i>Nominal Operating Cell Temp</i>	45 ± 2C°

Simulasi penempatan dari Super Kapasitor di Implementasikan dengan beban yang terhubung dengan baterai. Spesifikasi untuk baterai yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Baterai

<i>Lead Acid Battery</i>	
<i>Constant Voltage Charge</i>	12 V. 7.2A
<i>Stand by use</i>	13.6 V – 13.8 V
<i>Initial current</i>	Less than 2.88 A

Hasil yang akan dikaji pada simulasi penelitian ini adalah pengaruh dari penambahan Super Kapasitor terhadap tingkat ketahanan baterai terhadap beban dengan pengkondisian penyinaran sinar matahari yang maksimum. Adapun tahapan perancangan penelitian simulasi dilakukan dengan prosedur berikut :

1. Membuat konfigurasi sistem dengan menambahkan komponen *PV Array*, baterai dan Super Kapasitor dalam *layout* simulasi.
2. Memasukkan block *Powergui* untuk pengaturan respon simulasi.
3. Menempatkan titik pengukuran pada setiap elemen komponen diagram.

Implementasi Penggunaan Super Kapasitor Pada Sistem

4. Memasukkan nilai parameter *PV Array* dan baterai sesuai dengan spesifikasi data yang tersedia.
5. Menambahkan komponen beban dengan asumsi daya listrik bersifat konstan dengan batas nominal 12 V, 10 Watt.
6. Menambahkan komponen Super Kapasitor yang kemudian akan digunakan pada saat implementasi pembebanan pada baterai.

Setelah menentukan tahapan dari pembuatan simulasi, sistem dioperasikan melalui pengujian dalam kondisi radiasi matahari dan suhu maksimum. Langkah dari pengujian simulasi untuk pengambilan data dari sistem PLTS di jelaskan dengan langkah berikut :

1. Sistem dilakukan pengaturan pada respon waktu sebesar $10e-5$ yakni selama 0,0001 detik pengoperasian simulasi.
2. Penyinaran dan suhu pada simulasi dikondisikan secara maksimum dengan nilai 1000/m dan 25°C.
3. Kondisi pertama diberikan perlakuan pada sistem PLTS yang terkoneksi dengan baterai tanpa beban untuk menentukan hasil keluaran tegangan dan arus dari PLTS ke baterai.
4. Kondisi berikutnya ditambahkan beban konstan yang diasumsikan dengan beban penerangan dengan besaran daya listrik yang ditentukan.
5. Setelah mengoperasikan kedua kondisi tersebut, penambahan Super kapasitor diberikan kepada sistem dengan mengacu pada tegangan referensi pada baterai sebesar 12 V.
6. Spesifikasi ukuran dan jumlah dari kapasitor diberikan yakni 13 V/60F dan 2,7 V / 3000 F
7. Hasil dari kondisi seluruh pengoperasian dianalisa sesuai karakteristik dari setiap perlakuan dalam simulasi.

Sistem yang dioperasikan dalam simulasi merupakan beban DC. Daya yang dihasilkan adalah berupa sistem arus searah. Dari setiap komponen yang dibangkitkan pada sisi generator hingga pemakaian beban dapat dilakukan pendekatan melalui perhitungan daya listrik. Besarnya suatu daya listrik arus searah yang dihasilkan baterai dalam simulasi dapat ditentukan melalui Pers 1 [7].

$$P = V x I \quad (1)$$

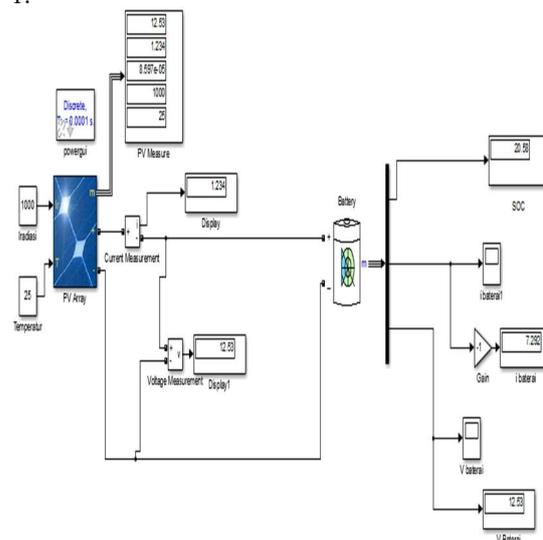
Kemudian besarnya suatu nilai energi dari suatu Super Kapasitor ditentukan dengan Pers.2 [8].

$$E = \frac{1}{2} x C x V^2 \quad (2)$$

Melalui persamaan tersebut maka dapat diketahui secara matematis yakni besarnya daya listrik searah yang dihasilkan dalam sistem adalah tegangan yang sebanding dengan arus listrik. Kemudian adanya kapasitansi serta tegangan maka suatu kapasitor dapat mampu menyimpan energi. Komponen Super Kapasitor yang dirancang dalam simulasi digunakan agar dapat membantu sistem mempertahankan penyediaan energi listrik dari baterai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari perancangan model sistem yang dikembangkan pada tahapan desain dan teknik pengambilan data untuk simulasi penelitian ini merupakan jenis dari sistem konvensional tanpa komponen pengendali. Model dari rangkaian telah dilakukan studi oleh peneliti terdahulu dengan pemakaian dari Super kapasitor yang dihubungkan langsung ke baterai tergolong sebagai sistem *Passive Hybrid* [9],[10]. Kondisi awal sistem yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 1.

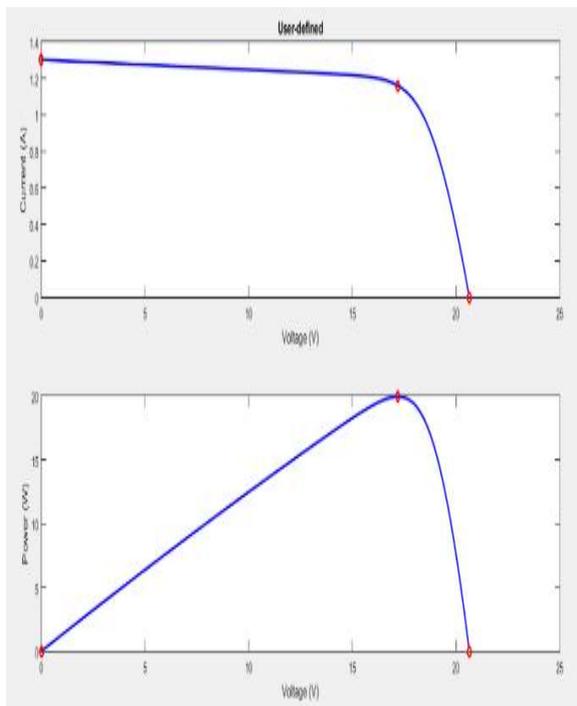


Gambar 1. Skema Desain PLTS

Modul dari *PV Array* 20 Wp diberikan *input* parameter dengan menggunakan data sesuai dengan spesifikasi *Irradiance* dan *Temperature* diterapkan secara penuh guna dapat mensimulasikan pembangkitan energi listrik dalam kondisi pembangkitan maksimum. Karakteristik kinerja modul *Polycrystalline* secara maksimum ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk posisi koneksi beban konstan yang dipakai dalam simulasi disesuaikan dengan batas

Implementasi Penggunaan Super Kapasitor Pada Sistem

tegangan nominal disamping adanya daya listrik serta diimbangi dengan penempatan Super Kapasitor yang dapat pada gambar 3.

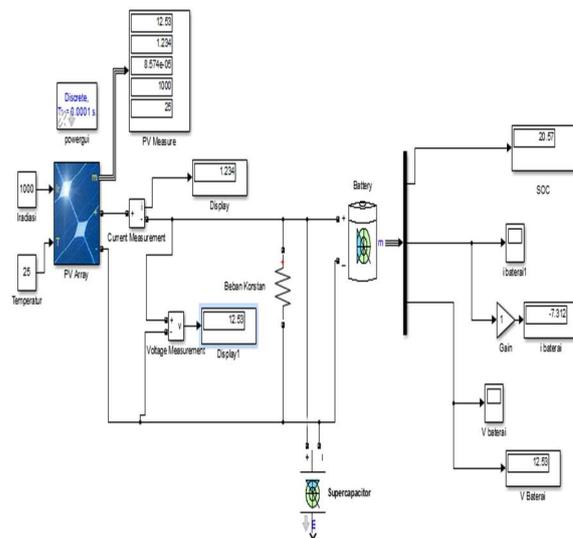


Gambar 2. Karakteristik Modul Sel Surya

Pengoperasian sistem dengan tanpa beban menggunakan waktu *start* simulasi sebesar 0,0001 s dapat menghasilkan besaran energi listrik untuk tegangan baterai sebesar 12,39 V dan arus sebesar 1,234 A menandakan bahwa simulasi sistem PLTS mampu melakukan pengisian baterai dengan sistem yang terhubung langsung dengan *PV Array*. Konsep penambahan Super kapasitor yang dikembangkan oleh peneliti terdahulu memakai karakteristik nominal 13V/ 60 F dengan kondisi hasil yang disimulasikan ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. *Output* Simulasi Penambahan Super Capacitor 13 V/ 60 F

Tanpa Beban	
Tegangan Baterai	12,39 V
Arus Baterai	1,234 A
Dengan Beban	
Tegangan Baterai	12,38 V
Arus Baterai	0,3745 A
Dengan Beban & Super kapasitor	13 V/ 60 F
Tegangan Baterai	12,37 V
Arus Baterai	0,1619 A



Gambar 3. Skema Konksi Beban dan Super Kapasitor

Kondisi sistem tanpa beban dalam simulasi memiliki daya baterai sebesar 15,29 W. Tahapan setelah diberikan Super Kapasitor sebesar 13V/60 F menunjukkan kondisi adanya perubahan tegangan dan arus saat kondisi berbeban. Baterai cenderung mengalami sedikit penurunan daya sebesar 0,57 % terhadap kondisi awal. Hal ini disebabkan karena besaran kapasitansi dengan energi tersimpan 5070 J hanya menggunakan 1 buah komponen dari Super Kapasitor tetap (*fix*). Batas tegangan yang dipakai ke sistem oleh Super Kapasitor yang dikembangkan peneliti oleh sebelumnya sebesar 11.5 V sehingga nilai tegangannya belum menyesuaikan dengan standar tegangan nominal baterai. Kemudian pada tahapan penambahan Super Kapasitor dengan mengganti nilai sebesar 2,7 V / 3000 F diberi perlakuan kondisi *start* simulasi yang sama terhadap pemasangan beban yang hasilnya dapat ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 *Output* Simulasi Penambahan Super Capacitor 2,7 V/ 3000 F

Dengan Beban dan Super kapasitor 2,7 V/ 3000 F	
Tegangan Baterai	12,53 V
Arus Baterai	7,292 A

Penambahan Super Kapasitor pada tahap ini memberikan hasil yang cukup signifikan dengan nominal yang ditetapkan. Besaran daya listrik yang diterima oleh baterai adalah sebesar 91,36 W dengan energi pada satu unit Super kapasitor sebesar 11760 J. Dalam kondisi ini kapasitas

baterai dapat meningkat akibat adanya penambahan besaran dari kapasitansi Super Kapasitor. Perlakuan sistem simulasi mendekati kapasitas dari operasi baterai dengan nilai yang diizinkan. Tahap ini menunjukkan terjadinya peningkatan tegangan dan arus baterai sebesar 18,47% terhadap kondisi awal. Simulasi pada kapasitor ditentukan dengan penambahan jumlah unit yang dibuat diseri dalam sebanyak 5 buah, kemudian dihubungkan secara paralel sehingga total tegangannya menjadi 13,5 V. Sistem pengisian arus pada baterai dapat mencapai nilai operasinya untuk mempertahankan suplai energi listrik ke beban.

4. KESIMPULAN

Penggunaan simulasi dalam penelitian untuk penempatan Super Kapasitor pada sistem PLTS *Off-grid* memberikan hasil pada baterai yang mampu diseimbangkan dengan mempertahankan kondisi tegangan pada baterai yang terhubung dengan beban dan memberikan pengisian arus pada baterai. Adanya penggunaan beban dapat mempengaruhi kinerja dari baterai sebagai penyimpanan energi. Pemakaian Super Kapasitor yang diusulkan dalam penelitian dapat dikembangkan lebih lanjut untuk penggunaan PLTS *Off-grid* skala mikro yang memerlukan ketahanan baterai dengan estimasi biaya atau *cost* yang cukup sederhana untuk sebuah sistem *Passive Hybrid*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Remya and R. Chithra, Performance Enhancement of Voltage Compensators with Battery-Supercapacitor Combination, *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, vol. 4, no. 7, pp. 1036–1039, 2015.
- [2] M. Al-Ramadhan and M. A. Abido, Design and simulation of supercapacitor energy storage system, *Renewable Energy and Power Quality Journal*, vol. 1, no. 10, 2012.
- [3] Y. D. Song, Q. Cao, X. Du, and H. R. Karimi, Control strategy based on wavelet transform and neural network for hybrid power system, *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2013, 2013.
- [4] Jeung, Yoon-Cheul, Duc Dung Le, and Dong-Choon Lee. " Analysis and design of DC-bus voltage controller of energy storage systems in DC microgrids." *IEEE Access* 7 (2019): 126696-126708.
- [5] D. T. Tung, H. T. Dung, and L. T. Lu, Study On Fast Charger For 5v 1500f Supercapacitor Module From Photovoltaic Panel, *Vietnam Journal of Science and Technology*, vol. 57, no. 1, pp. 82–91, 2019.
- [6] M. Effendy, R. D. Zulyazis, and N. Mardiyah, Desain Power Sistem PV pada DC Microgrid berdasarkan Kombinasi Supercapacitor dan Battery, *CYCLOTRON*, vol. 2, no. 2, pp. 26–30, 2019.
- [7] I. Sopandi, Y. Hananto, and B. Rudiyanto, Studi Ketebalan Elektroda Pada Produksi Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksigen) Oleh Generator Hho Tipe Basah Dengan Katalis NaHCO₃ (Natrium Bikarbonat), *Rona Teknik Pertanian*, vol. 8, no. 2, 2015.
- [8] A. Riyanto, Supercapacitor Sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan, *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, vol. 3, no. 2, 2014.
- [9] L. W. Chong, Y. W. Wong, R. K. Rajkumar, and D. Isa, Modelling and Simulation of Standalone PV Systems with Battery-supercapacitor Hybrid Energy Storage System for a Rural Household, in *Energy Procedia*, 2017, vol. 107, pp. 232–236.
- [10] Bernard, Jérôme, et al. Fuel cell/battery passive hybrid power source for electric powertrains. *Journal of Power Sources* 196.14. 2011. 5867-5872.