

Desain *Power Sistem PV* pada *DC Microgrid* berdasarkan Kombinasi *Supercapacitor* dan *Battery*

Machmud Effendy¹, Rizky Dwiki Zulyazis², Nuralif Mardiyah³
^{1,2,3}Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas 246 Malang 65144
e-mail: machmud@umm.ac.id

Abstrak— Baterai dan superkapasitor memiliki karakteristik yang berbeda sehingga sebuah sistem penyimpanan sangat sulit di injeksikan ke sebuah jaringan transmisi (*grid*) yang akan langsung dihubungkan dengan daya permintaan (*Load Demand*). *Dc Microgrid* adalah solusi utama yang mana sumber energi berasal dari *Photovoltaic* dan *storage system* berasal dari kombinasi *Battery* dan *Supercapacitors*. Penggunaan kombinasi *Supercapacitors* dan *Battery* berfungsi untuk mengurangi kinerja baterai yang berlebih. *Power Management Strategy* digunakan untuk menentukan seberapa besar daya yang dibutuhkan pada grafik daya permintaan, Kontrol Logika Fuzzy digunakan sebagai kontrol utama pada sistem ini untuk menentukan referensi masukan pada *Supercapacitors*. Hasil simulasi menunjukkan *Supercapacitors* mampu mensuplai kekurangan energi pada baterai dengan waktu lebih singkat.

Kata kunci: *Dc Microgrid, Photovoltaic, Power Management Strategy, Supercapacitors, Fuzzy*

Abstract— *Batteries and super capacitors have different characteristics so that a storage system is very difficult to inject into a transmission network (grid) which will be directly connected to the demand power. Dc Micro grid is the main solution where energy sources from Photovoltaic and storage systems come from a combination of Battery and Super capacitors. The use of a combination of Super capacitors and Battery serves to reduce the performance of excessive batteries. Power Management Strategy is used to determine how much power is needed in the demand power graph, Fuzzy Logic Control is used as the main control in this system to determine the reference input to Supercapacitors. The simulation results show that super capacitors are able to supply a lack of energy in batteries with a shorter time.*

Keywords: *Dc Microgrid, Photovoltaic, Power Management Strategy, Supercapacitors, Fuzzy*

I. PENDAHULUAN

Karakteristik pada baterai dan superkapasitor (SC) yang berbeda membuat sebuah sistem penyimpanan akan sangat sulit sekali di injeksikan ke sebuah jaringan transmisi (*grid*) yang akan langsung berhadapan dengan daya permintaan (*Load Demand*). Perbedaan keluaran tegangan yang membuat sebuah sistem akan mengalami kesulitan pada saat terjadi lonjakan daya permintaan, maka dari itu diperlukan *Power Management Strategy* sebagai pengontrol keluaran tegangan yang ada pada sistem penyimpanan agar kombinasi baterai dan superkapasitor dapat memenuhi daya permintaan.

Jaringan transmisi Mikro Arus Searah (*DC Microgrid*) dapat menjadi solusi karena sumber energi berasal dari energi terbarukan berupa *Photovoltaic* (PV) yang mana karakteristik PV diperlukan agar sebuah sistem *Microgrid* bekerja secara maksimal dan sesuai kebutuhan. Dalam era terbaru ini sebuah jaringan listrik mudah dikendalikan dan juga lebih efisien dan ekonomis dari segi instalasi pemasangan dan pemanfaatan energi. Dimana semakin

berkurangnya sumber daya fosil sebagai bahan bakar utama pembangkitan listrik di dunia, maka penggunaan sumber daya fosil semakin berkurang dan beralih menggunakan sumber daya terbarukan (*Renewable Energy*). Sebuah jaringan transmisi Mikro Arus Searah (*DC Microgrid*) dapat menjadi solusi karena system ini terdiri dari sumber energi terbarukan dimana sumber energi dan penyimpanan energi saling terhubung untuk memenuhi permintaan daya beban setiap saat [1].

Jaringan transmisi DC mempunyai efisiensi tinggi karena memiliki faktor daya = 1, sehingga rugi – rugi daya pada sistem dioperasikan dapat berkurang, dan juga dapat mengurangi besarnya nilai tegangan jatuh yang ditimbulkan pada saat transmisi energi listrik. Sistem ini juga tidak memiliki masalah terhadap stabilitas sistem sehingga memungkinkan untuk penyaluran jarak jauh serta memiliki isolasi yang lebih sederhana ekonomis dan efisien.

Jaringan *DC Microgrid* bertujuan untuk menghindari fluktuasi tegangan jaringan, atau bahkan pemadaman listrik setiap saat. Jaringan listrik harus menyeimbangkan kekuatan antara produksi dan konsumsi dengan margin

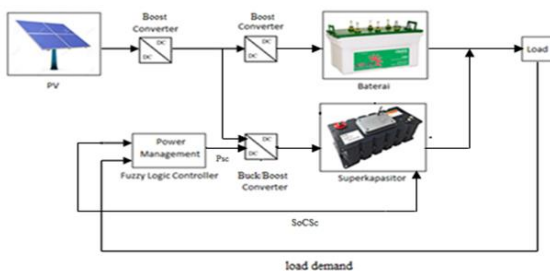
kesalahan kecil [2]. DC *Microgrid* sangat berguna karena merupakan bagian dari sebuah sistem utama yang memiliki keunggulan pengaturan terhadap jaringan dirinya sendiri, sehingga jika terjadi gangguan terhadap sistem jaringannya dapat diatasi dan masih dapat menjalankan fungsi pembangkitan dan penyaluran sendiri untuk memenuhi beban yang dibutuhkan untuk menggantikan jaringan listrik utama. Sumber daya yang digunakan pada jaringan DC *Microgrid* yaitu *photovoltaic*. *Photovoltaic* atau solar cell adalah teknologi yang ramah terhadap lingkungan dan tidak menghasilkan kebisingan dan efisiensi yang tinggi [3]. Untuk Memaksimalkan produksi energi pada PV, metode MPPT dibutuhkan untuk mempertahankan puncak energi pada PV [3]. *Supercapacitor* (SC) biasa digunakan sebagai penyangga kebutuhan tenaga dalam jangka pendek atau sebagai energi cadangan pada energi terbarukan. Kombinasi baterai dan superkapasitor akan meningkatkan kinerja baterai dari sistem dan daya tahan baterai [4].

Jaringan DC *Microgrid* yang berbasis pada sumber energi *photovoltaic*, dengan kombinasi Superkapasitor dan baterai sebagai storage system adalah sebuah sistem jaringan transmisi mandiri. Algoritma berbasis logika *fuzzy* digunakan untuk memecahkan masalah manajemen energi dan distribusi energi antara baterai dan SC. Namun, penggunaan logika *fuzzy* tidak memerlukan model matematika yang kompleks seperti yang digunakan dalam system kontrol klasik [5]. Fungsi *Fuzzy Logic Controller* adalah sebagai *back up system* ketika terjadi kekurangan daya *energy* berdasarkan SoC pada baterai. Setiap elemen yang terpasang / terhubung ke jaringan DC bus memiliki konverternya masing – masing.

Setiap elemen yang terhubung pada jaringan DC *Microgrid* memiliki masing – masing karakteristik yang berbeda sehingga *Power Management System* dirancang berdasarkan karakteristik yang berbeda - beda dari superkapasitor dan baterai” [6]. Pengaturan daya masukan dan keluaran pada setiap elemen diatur pada bagian blok yang berbeda yang mana pada bagian sistem ini untuk mengetahui energi suatu sistem yang dihasilkan pada setiap elemen menggunakan Manajemen Energi (*Power Management System*). [7-9]

II. METODOLOGI

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem jaringan DC *Microgrid*, yang terdiri dari PV, *boost converter*, *buck-boost converter*, baterai, superkapasitor, sistem power management, dan beban



Gambar 1. Konfigurasi Jaringan DC Microgrid

A. Boost Converter

Boost converter adalah *converter* yang bekerja sebagai penaik tegangan DC. konverter ini merupakan bentuk dari sebuah *power-supply* yang dibutuhkan ketika sebuah nilai tegangan pada rangkaian elektronika lebih rendah dari tegangan supply maka fungsi konverter tersebut sebagai penaikan tegangan..

Untuk menentukan nilai *duty cycle* digunakan rumus pada persamaan 1 [10,11] .

$$D_{boost} = 1 - \frac{V_s}{V_o} \quad (1)$$

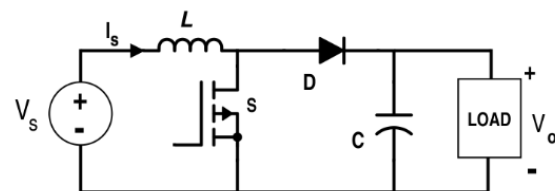
Setelah menentukan nilai *duty cycle* maka selanjutnya dapat menentukan nilai induktor.

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2 * D * R}{2 * f} \quad (2)$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai kapasitor dengan menggunakan Persamaan 3.

$$C_{min} = \frac{D * V_{out}}{V_r * R * f} \quad (3)$$

Rangkaian *boost converter* ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Boost Converter

B. Buck-boost Converter

Buck-Boost converter adalah rangkaian yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan, pada bagian *buck* berfungsi untuk menurunkan tegangan ketika tegangan yang diperoleh melebihi batas yang ditentukan dan pada bagian *boost* berfungsi untuk menaikkan tegangan ketika tegangan yang dibutuhkan kurang.

Menghitung besaran *duty cycle* pada mode ini menggunakan persamaan 4.

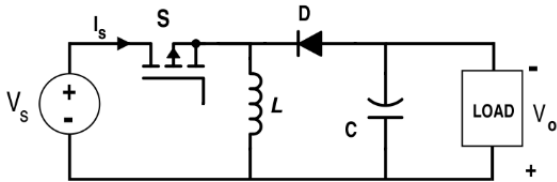
$$D = \frac{V_o}{V_o - V_i} \quad (4)$$

Besarnya komponen L minimal dan C minimal dihitung berdasarkan persamaan 5 dan 6.

$$L_{min} = \frac{(1 - D)^2}{2 * f} * R \quad (5)$$

$$C = \frac{V_o * D}{R * \Delta V_o * f} \quad (6)$$

Rangkaian *buck boost converter* ditunjukkan pada gambar 3.

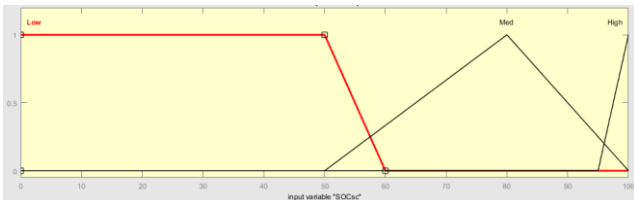


Gambar 3. Rangkaian *Buck Boost Converter*

C. *Kontrol Fuzzy*

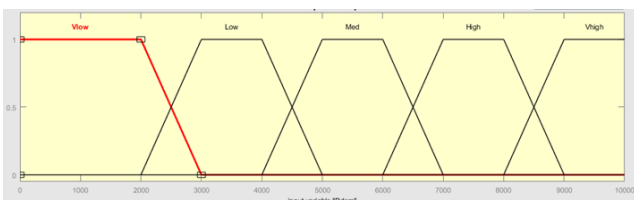
Kontroller logika *fuzzy* bertujuan untuk memantau seberapa besar kapasitas dari superkapasitor yang tersisa dan untuk menentukan keluaran dari superkapasitor. Kontrol *fuzzy* menggunakan 2 buah masukan yaitu SoC SC dan *load demand* (Pdem) dan 1 buah keluaran yaitu SC load (Psc).

Fungsi Keanggotaan SoC SC pada masukan kontrol *fuzzy* terdapat 3 *membership function* yang mana pada *membership function* memiliki batasan nilai yang berbeda seperti pada gambar 2, untuk fungsi *low* sendiri mempunyai batasan nilai dari 0 – 60, dan *medium* mempunyai batasan dari 50 – 100 sedangkan fungsi *high* mempunyai batasan 95 – 100. Batasan tersebut merupakan nilai dari kapasitas superkapasitor.



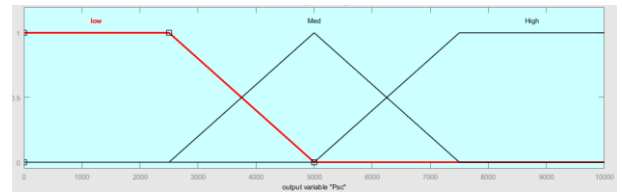
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Masukan SoC SC

Fungsi Pdem (*Load Demand*) sebagai nilai acuan berfungsi untuk menentukan seberapa besar nilai keluaran. Terdapat 5 fungsi keanggotaan pada Pdem, fungsi Vlow mempunyai batasan dari 0-3000, fungsi low 2000-5000, fungsi med 4000-7000, fungsi high 6000-9000, fungsi Vhigh 8000-10000. Batasan tersebut merupakan nilai seberapa besar daya permintaan yang diinginkan.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Masukan Pdem

Keluaran (*output*) *fuzzy* adalah berupa permintaan daya pada superkapasitor (Psc) yang mana parameter keanggotaan pada keluaran kontrol *fuzzy*. Pada keluaran *Fuzzy* (Psc) terdapat 3 *membership function* yang berfungsi sebagai batasan nilai keluaran logika *fuzzy* yang akan masuk ke konverter superkapasitor, 3 fungsi tersebut adalah, *low* mempunyai batasan dari 0-5000, *medium* 2500-7500 dan *high* 5000-10000.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Keluaran Psc

Aturan *Fuzzy Logic Controller* yang diterapkan pada sistem ditunjukkan pada tabel 1.

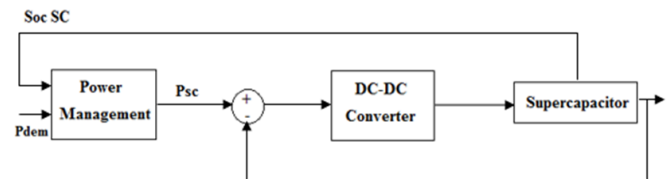
Tabel 1. Aturan *Fuzzy*

Psc	Pdem				
	Vlow	Low	Med	High	Vhigh
Low	Low	Low	Low	Med	High
SoCsc Med	Low	Low	Med	High	High
High	Low	Low	Med	High	High

D. *Power Management Strategy*

Power Management Strategy digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi sesuai yang diinginkan. *Power management* yang dirancang berdasarkan pada baterai dan *supercapacitor* yang mana memiliki karakteristik yang berbeda.

Baterai dan superkapasitor berada pada posisi parallel yang mana gangguan (*power disturbance*) dapat dirasakan bersamaan pada baterai dan superkapasitor, keuntungan dari hubung parallel adalah baterai dapat dilindungi dari hubung pendek atau fluktuasi daya, pada saat fluktuasi daya superkapasitor merespon kelebihan dan kekurangan daya sebagai masukan pada superkapasitor.



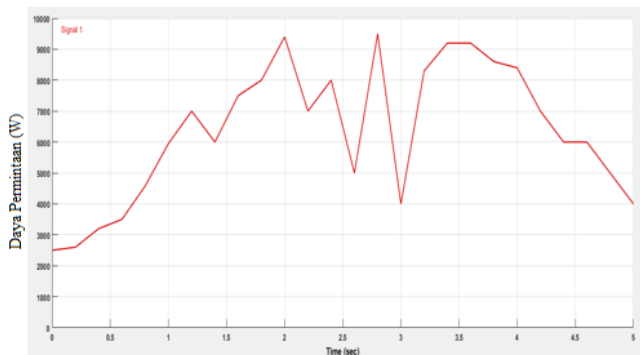
Gambar 7. Diagram Blok *Power Management Strategy*

Gambar 7 menunjukkan bahwa masukan dari blok *Power Management* ialah SoC SC dari superkapasitor dan daya permintaan Pdem. Keluaran dari blok *Power Management* adalah berupa sinyal daya referensi Psc sebagai masukan konverter dengan mengurangi nilai arus referensi dengan arus masukan yang dihasilkan oleh sensor yang ada pada superkapasitor, sinyal *feedback* yang dihasilkan dapat dirubah menjadi sinyal PWM yang dapat digunakan sebagai pensaklaran pada konverter untuk menentukan konverter akan berkerja pada buck atau buck boost.

E. *Model Daya Permintaan*

Daya permintaan yang digunakan merupakan indikasi sebagai banyaknya energi yang dibutuhkan seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Daya yang digunakan bervariasi sesuai gambar 8. Daya yang tersusun akan aktif pada waktu (detik) tertentu. Beban akan aktif pada detik 0 hingga 1.2 yaitu sebesar 2500 hingga 7000W, detik 1.2

sebesar 6000W, detik 1.6 hingga 2 sebesar 7500 hingga 9400 W, detik 2.2 sebesar 7000W, detik 2.4 sebesar 8000W, detik 2.6 sebesar 5000W, detik 2.8 sebesar 9500W, detik 3 sebesar 4000W, detik 3.2 sebesar 8300W, detik 3.4 – 3.5 sebesar 9200W, detik 3.8 hingga 5 sebesar 8600 hingga 4000W.

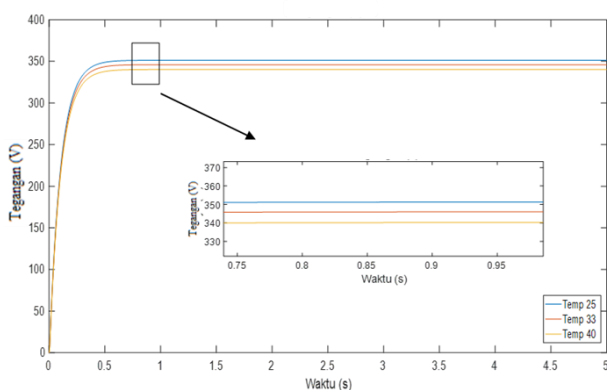


Gambar 8. Grafik Daya Permintaan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian PV

Pengujian *Photovoltaic* dilakukan untuk mengetahui karakteristiknya, yaitu seberapa besar tegangan dan arus pada saat nilai inputan *irradiance* (I_r) dan *temperature* (T) yang berbeda – beda, yang mana dalam pengujian nanti akan dilakukan nilai inputan T yang berbeda – beda dan nilai inputan I_r yang sama. Hasil keluaran pada pengujian nilai *Temperature* yang berbeda dan nilai Radiasi yang sama terlihat pada gambar 9 terlihat semakin kecil nilai *temperature*, nilai tegangan semakin tinggi dengan radiasi $1000W/m^2$.

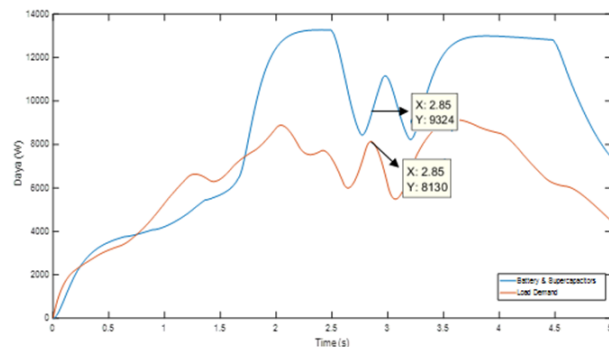


Gambar 9. Tegangan PV saat T (beda) I_r (sama)

B. Pengujian Power Management pada sistem baterai dan superkapasitor.

Hasil simulasi pengujian daya permintaan beban terhadap baterai dan superkapasitor ditunjukkan pada gambar 10. Pada gambar tersebut terlihat baterai dan superkapasitor mampu memenuhi daya permintaan beban yang mana keluaran daya pada baterai dan superkapasitor mampu memenuhi setiap daya yang dibutuhkan. Pada detik $<1.5s$ terlihat respon yang lambat membuat daya permintaan tidak terpenuhi, tetapi pada detik selanjutnya

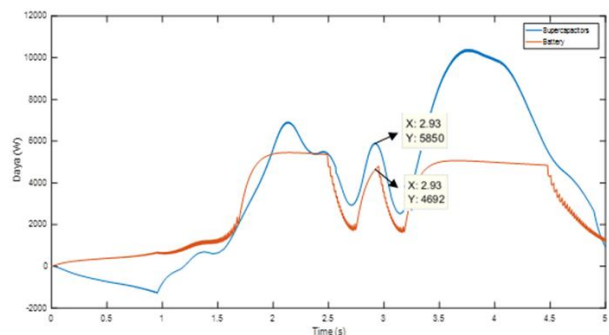
baterai dan superkapasitor mampu memenuhi daya permintaan yang diberikan. Perbedaan hasil keluaran terlihat pada gambar, dimana selisih daya yang dihasilkan oleh baterai dan superkapasitor pada detik 2.85 adalah 9324W sedangkan daya permintaan 8130W, yang mana baterai dan superkapasitor mampu memenuhi daya permintaan dengan selisih daya sebesar 1194W.



Gambar 10. Keluaran daya Baterai dan Superkapasitor Terhadap Daya Permintaan

C. Simulasi Respon Supercapacitors dan Battery

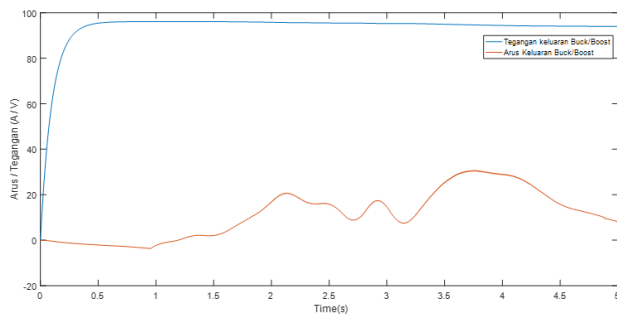
Pada gambar 11 menunjukkan respon superkapasitor pada baterai pada saat terjadi lonjakan daya permintaan pada detik ke 2.93s. Pada detik tersebut superkapasitor mampu mensuplai energi ketika lonjakan daya terjadi. Selisih daya yang dihasilkan pada detik tersebut adalah 1158 W.



Gambar 11. Hasil Simulasi Supercapacitors dan Battery

D. Simulasi Respon Buck – Boost Converter

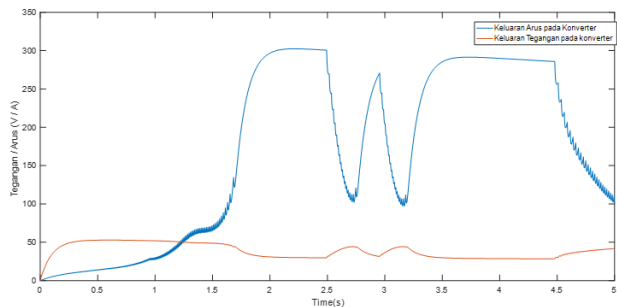
Hasil respon keluaran konverter berupa besaran arus dan tegangan yang terdapat pada rangkaian superkapasitor . masukan daya pada konverter adalah hasil dari keluaran fuzzy maka didapat nilai arus dan tegangan pada gambar 12. Nilai tegangan yang dihasilkan menunjukkan cenderung stabil dan untuk nilai arus yang dihasilkan mengalami perubahan yang berubah – ubah mengikuti pola daya permintaan



Gambar 12. Respon Arus/Tegangan Konverter Buck-Boost

E. Simulasi Respon Boost Converter

Gambar 13 memperlihatkan hasil respon keluaran boost konverter. Terlihat bahwa tegangan berubah – ubah mengikuti pola daya permintaan membuktikan bahwa baterai mampu mengikuti pola daya yang di inginkan pada grafik daya permintaan, sedangkan pada keluaran arus baterai terlihat nilai arus juga mengalami fluktuasi.



Gambar 13. Respon Arus/Tegangan Konverter Buck-Boost

IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian *photovoltaic* saat nilai radiasi tetap pada nilai 1000 dan nilai suhu berubah – ubah dari 25,33 dan 40 maka tegangan akan menurun mengikuti perubahan suhu. Hal ini terjadi dikarenakan semakin tinggi nilai dari *Temperature*, maka nilai efisiensi PV akan menurun. Pada saat nilai suhu tetap dan nilai radiasi berubah – ubah dari 1000, 800,500 maka akan mempengaruhi keluaran tegangan pada PV, jadi semakin tinggi nilai *irradiance* maka semakin tinggi juga nilai keluaran tegangan pada PV. Sehingga semakin tinggi nilai *irradiance* maka semakin besar juga nilai keluaran tegangan dibandingkan semakin tinggi nilai *temperature* yang akan membuat efisiensi PV akan menurun. *Battery* dan *Supercapacitors* pada saat terjadi lonjakan daya permintaan pada detik ke 2.93s, pada detik tersebut superkapasitor mampu mensuplai energi ketika lonjakan daya terjadi. Selisih daya yang dihasilkan pada detik tersebut adalah 1158 W. *Power Management system* mampu mengontrol keluaran baterai dan superkapasitor untuk memenuhi daya permintaan yang dibutuhkan, terlihat pada detik <1,7s terlihat respon yang lambat membuat daya permintaan tidak terpenuhi disebabkan karena proses perhitungan algoritma logika *fuzzy*.

REFERENSI

- [1] Hongwei Wu, Fabrice Locment, Manuela Sechilariu Changjie Yin, "Energy management of DC microgrid based on photovoltaic combined," *Energy Conversion and Management*, pp. 14-27, 2017.
- [2] Tao Zhou and Bruno François, "Energy Management and Power Control of a Hybrid Active Wind Generator for Distributed Power Generation and Grid Integration ," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 58, pp. 95-104, january 2011.
- [3] Machmud dkk, "Implementasi Maximum Power Point Tracking pada Photovoltaic Berbasis P&O-Fuzzy", *JNTETI Vol.6 No.1 2017*
- [4] Jianwei Li, "A SC/battery Hybrid Energy Storage System in the Microgrid ," *Energy Procedia*, vol. 142, no. Microgrid, pp. 3697-3702, 2017.
- [5] Zineb Cabrane, "Battery and supercapacitor for photovoltaic energy storage: a fuzzy logic management," *IET Renewable Power Generation*, vol. 11, no. 8, pp. 1157-1165, june 2017.
- [6] Tanmay Rout and Ankit Chowdhury, "Analysis of Energy Management System for," *IEEE International Conference on Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP-2018)*, March 2018.
- [7] Manuela Sechilariu, "Supervision control for optimal energy cost management," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 58, pp. 140-149, january 2014.
- [8] Farid Miharja, "Perencanaan Dan Manajemen Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin/Surya/Fuel Cell) Pulau sumba menggunakan Software Homer," *Teknik Elektro ITS*, 2014.
- [9] Firmansyah Putra Pratama, "Sistem Pembangkit Listrik Hibrida PV-Diesel Microgrid Untuk Daerah Terisolasi Tanpa Menggunakan Media Penyimpan Energi," *Jurnal Teknk POMITS*, vol. 1, pp. 1-5, 2012.
- [10] Zainal Salam, "Power Electronics and Drives ," vol. 3, pp. 1-20, 2003.
- [11] Muhammad Rashid, "POWER ELECTRONICS HANDBOOK," *DC-DC Converters*, pp. 213-215, 2001.