

## ANALISIS PERFORMA BATERAI JENIS VALVE REGULATED LEAD ACID PADA PLTS OFF-GRID 1 KWP

**Handoko Rusiana Iskandar<sup>1,\*</sup>, Clarez Beby Elysees<sup>2</sup>, Rijal Ridwanulloh<sup>3</sup>,  
Atik Charisma<sup>4</sup>, Hajjar Yuliana<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani,  
Jl. Terusan Jenderal Sudirman, Po Box 148, Cimahi, Jawa Barat, 40531

\*E-mail: [handoko.rusiana@lecture.unjani.ac.id](mailto:handoko.rusiana@lecture.unjani.ac.id)

Diterima: 20 Oktober 2020

Direvisi: 20 Desember 2020

Disetujui: 11 April 2021

### ABSTRAK

*Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan solusi pembangkit listrik dengan energi terbarukan yang dapat diaplikasikan baik secara komunal maupun bersifat mandiri. Peran utama storage system khususnya baterai menjadi dasar keberlangsungan energi yang dapat disalurkan dalam sistem PLTS jenis off-grid. Penelitian ini sistem PLTS off-Grid merupakan bahasan utama terlebih pada penggunaan baterai sebagai tempat menyimpan energi, dimana baterai memiliki performa yang tidak selalu berada pada kondisi 100% selama penggunaan berkala dalam jangka waktu tertentu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan memodelkan baterai jenis Valve Regulated Lead Acid (VRLA) yang terhubung ke dalam sistem PLTS 1 kWp di Laboratorium Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani. Pengujian operasi baterai dilakukan dengan penggunaan beban lampu 1000 W selama 24 jam dengan berbagai karakteristik output antara lain nilai arus baterai saat charging dan discharging, kemudian siklus baterai selama 1 tahun, rasio state of charge (SOC) terhadap depth of discharge (DOD), efisiensi siklus baterai dan performa baterai saat hari otonom. Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian pada baterai Volta 6FMX100 dengan spesifikasi 12 V/100Ah yang dilakukan, nilai charging baterai rata – rata dalam 1 tahun 90603,9 A dan discharging baterai 85834,3 A. Nilai DOD baterai ideal berdasarkan spesifikasi 2,4%. Usia baterai mengalami penyusutan 10% akibat pemakaian selama 1 tahun. Hasil pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian ini bergantung data meteorologi di site PLTS yang dimasukkan pada karakteristik panel surya pada PLTS 1 kWp.*

**Kata kunci:** *charging, discharging, depth of discharge, state of charge, valve regulated lead acid.*

### ABSTRACT

*Photovoltaic technology is a clean energy storage approach that can be used both communally and separately. The key function of batteries, is to provide the basis for the stabilization of energy that can be dispersed in an off-grid PV. This study on the use of batteries as a place to store electricity, where the battery has an output that is not always at a 100% condition during intermittent usage for a certain period of time. The approach used in this research is to model a VRLA type battery connected to a 1 kWp PV grid at the Electrical Engineering Laboratory, Universitas Jenderal Achmad Yani. Battery operation monitoring shall be carried out using a lamp load of 1000 W for 24 hours with different output parameters, including the current value of the battery while charging and discharging, the battery cycle for 1 year, the ratio of state of charge to depth of discharge, battery cycle efficiency and battery performance during autonomous days. Based on the findings of the simulation and measurement of the Volta 6FMX100 battery with 12V/100Ah parameters, the total battery charge value for 1 year is 90603.9A and the battery discharge is 85834.3A. The perfect DOD battery performance is based on the 2.4 %. Battery life decreased by 10% due to 1 year of use. The results of the experiments carried out in this analysis rely on the meteorological data at the PLTS site included in the characteristics of the solar panels on the 1 kWp PV system.*

**Keywords:** *charging, discharging, depth of discharge, state of charge, valve regulated lead acid.*

## PENDAHULUAN

Energi matahari diperkirakan tidak akan pernah habis dan pemanfaatan energi ini menjadi solusi yang paling ramah lingkungan diantara sumber energi baru yang lain (Zou, Jiang, & Liu, 2016). Perkembangan suatu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan teknologi alternatif yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik manusia (Dellosa, 2016). Dalam pengoperasiannya, PLTS terbagi menjadi 2 jenis yaitu sistem PLTS *on-grid* dan *off-grid*. PLTS *on-grid* merupakan sistem PLTS yang terhubung langsung dengan jaringan listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan sistem PLTS *off-grid* atau tidak terhubung jaringan PLN pada umumnya menggunakan baterai sebagai cadangan energi untuk tetap menyalurkan sumber listrik pada beban (Dimitrov & Goranov, 2017). Jika intensitas *irradiance* tidak berada dalam kondisi puncaknya baterai bekerja lebih dalam proses pelepasan (*discharging*). Hal ini umumnya berlaku pada kondisi bukan *peak sun hour* (PSH), namun desain sistem umumnya memperhatikan akumulasi waktu tersebut dalam waktu otonom (*autonomous day*) (Xijun, Jiayu, Libin, & Wei, 2017).

Laboratorium teknik elektro memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan kapasitas 1 kWp yang digunakan sebagai aktifitas riset dan praktikum (Iskandar & Fakhri, 2018). Sistem PLTS ini memiliki 10 panel surya yang terpasang secara seri dengan masing – masing panel memiliki tegangan 18 V<sub>DC</sub> dan arus 5,56A dengan rugi-rugi akibat *shading* 20,8% (Iskandar, Zainal, & Sambasri, 2018). Untuk memaksimalkan aktivitas yang ada, riset kapasitas dari masing – masing komponen sistem PLTS 1 kWp perlu dilakukan. Tidak hanya itu analisis performa baterai dianalisis lebih jauh untuk memaksimalkan perancangan terhadap kebutuhan sistem eksisting Laboratorium. Karakteristik panel surya perlu diketahui untuk menentukan performa baterai yang dipilih untuk dianalisis. Panel surya dimodelkan dengan nilai *irradiance* yang bervariasi terhadap daya keluaran panel surya. Nilai *irradiance* ini ditentukan berdasarkan koordinat sistem PLTS berada.

Makalah ini memaparkan studi mengenai analisis performa terhadap baterai jenis *valve regulated lead acid* (VRLA) yang disimulasikan dalam 1 tahun sehingga nilai arus pada saat *charging* dan *discharging* akan terlihat. Selain itu, performa ini akan menentukan nilai *state of charge* (SOC) terhadap *depth of discharge* (DOD) baterai. Nilai DOD akan terlihat ketika menghitung kapasitas baterai pada kondisi otonom. Sehingga, baterai ini dianalisis lebih lanjut kinerja dan diprediksi penurunan performanya dalam 1 tahun ke depan.

## METODE PENELITIAN

### Uji Karakteristik Panel Surya

Panel surya yang digunakan pada sistem PLTS 1 kWp ini tentu tidak lepas dari beberapa latar belakang penelitian sebelumnya (Iskandar et al., 2019), (Jain, Gupta, & Kumar Bohre, 2018). Spesifikasi panel surya tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi Panel Surya

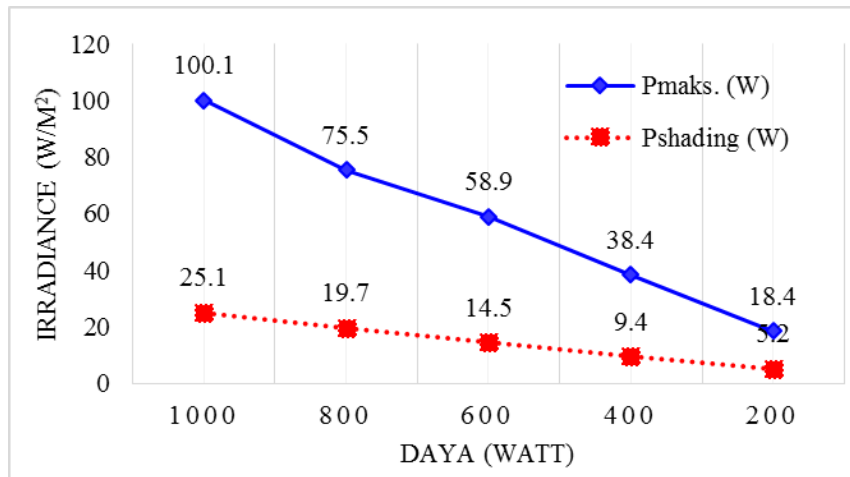
Parameter	Keterangan
Merk dan Tipe	Sumico TN-100M
Teknologi Sel Surya	Si-mono
Daya STC (Pmaks.)	100Wp
Teg. Operasi (Vmp)	18 V
Teg. Rangk. Terbuka (Voc)	23,36 V
Arus Operasi (Imp)	5,56 A
Arus Hub. Singkat (Isc)	6,02 A
Dimensi Panel	0,69m <sup>2</sup>

Untuk mencari efisiensi penyerapan *irradiance* oleh panel surya seperti spesifikasi dalam Tabel 1, maka nilai *fill factor* ditentukan menggunakan persamaan (1) berikut,

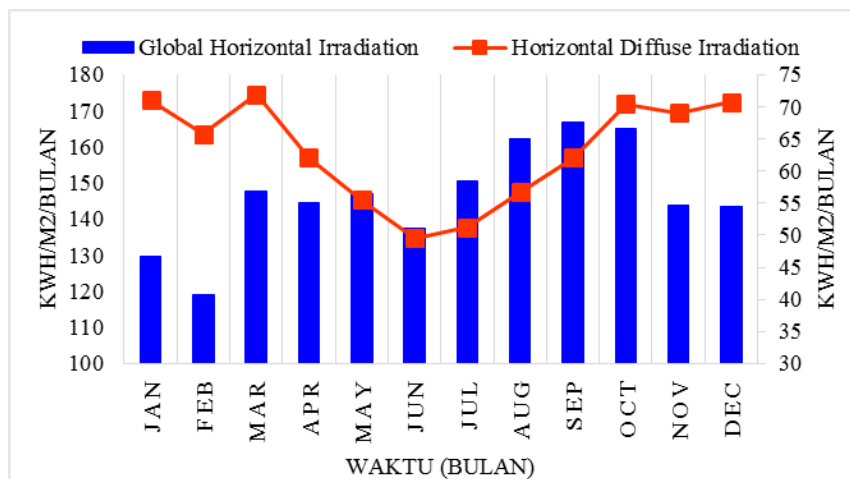
$$Fill_{fac} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (1)$$

$$Eff. = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{Luas (m^2) \times Solar_{irr}} \quad (2)$$

Hasil perhitungan *fill factor* pada panel surya 1 kWp menggunakan persamaan (1) menunjukkan nilai *ff* adalah 0,71.



Gambar 1. Rugi – rugi Daya Panel Surya Akibat Shading



Gambar 2. Perbandingan Global Horizontal dan Horizontal Diffuse Irradiation

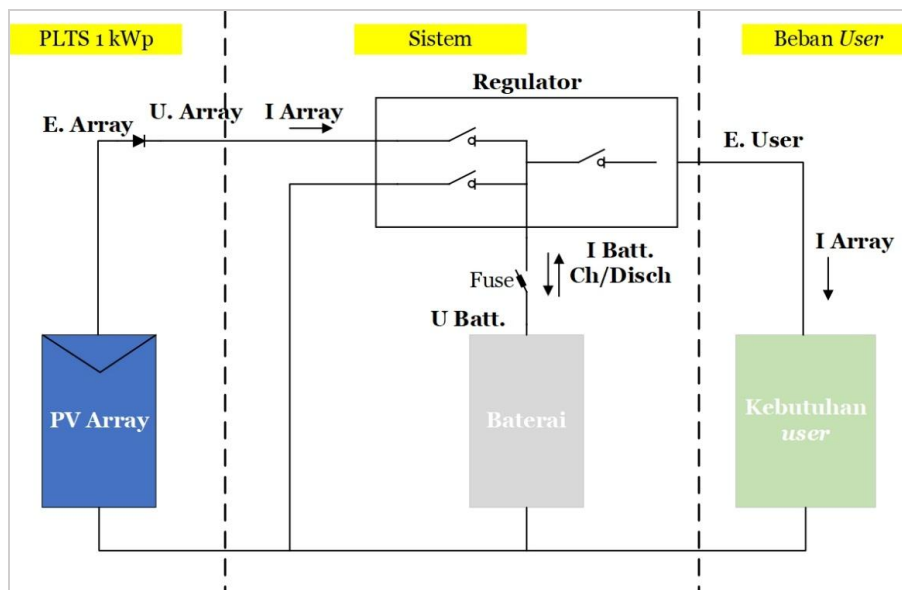
Kemudian, jika kita hitung efisiensi maksimum panel surya menggunakan persamaan (2) dengan luas  $0,69\text{m}^2$  dan asumsikan bahwa panel surya berada pada kondisi *Standard Test Condition* (STC) saat *Irradiance*  $1000\text{ W/m}^2$  adalah sebesar  $14,51\%$ . Tabel 1 menunjukkan parameter dasar untuk selanjutnya menghitung besar *fill factor* dan efisiensi panel surya yang digunakan dalam PLTS 1 kWp. Sedangkan rugi-rugi akibat *shading* dengan rasio  $80\%$  ditunjukkan oleh Gambar 2.

### Sumber Data Meteo Tahunan

Data meteo dapat diperoleh pada saat memasukkan titik koordinat dan lokasi PLTS. Sehingga, hal ini menjadi dasar dalam menentukan parameter input pada sistem PLTS dalam makalah ini. Gambar lokasi yang diambil dari map *google earth* dengan lokasi Garis lintang  $6^\circ 53' 14''\text{ S}$ , Garis bujur  $107^\circ 31'$

$36''\text{ E}$ . Data *irradiance* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 memiliki jumlah dalam 1 tahun dengan nilai *Global horizontal irradiance* (GHI) ini dipengaruhi sinar langsung, sinar pantul dan sinar hambur sebesar  $1757,7\text{ kWh/m}^2$  sedangkan untuk *Horizontal Diffuse Irradiation* (GDI) sebesar  $755,8\text{ kWh/m}^2$ .

Nilai GDI lebih kecil karena GDI merupakan sinar matahari yang dihamburkan oleh awan dan tidak  $100\%$  yang mencapai permukaan bumi. Dalam hal ini berarti nilai *diffuse* akan sangat dipengaruhi oleh pergerakan awan dan tebal tipisnya kondisi awan pada hari itu termasuk dalam kondisi mendung. Dalam simulasi, kondisi ini diasumsikan sebagai merupakan rugi – rugi yang terjadi akibat *far shading*. Selain itu, nilai *albedo* (sinar pantul dari permukaan bumi) yang memiliki nilai maksimum  $\pm 20\%$ .



Gambar 4. Skematik Sistem PLTS menggunakan Baterai VRLA

### Uji Karakteristik Baterai VRLA

Baterai yang digunakan adalah baterai dengan tegangan 12 Volt dan 100 Ah. Baterai dipilih karena memiliki jumlah jam *charging* dan *discharging* yang tinggi (Liang, Song, Wang, Zhang, & Wang, 2019). Baterai yang dianalisis dalam makalah ini memiliki spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut,

Tabel 2. Spesifikasi Baterai VRLA

Parameter	Keterangan
Width (mm)	110 mm
Depth (mm)	408 mm
Height (mm)	286 mm
Weight (kg)	32 kg
Tegangan Nom. (Volt)	12 V
Kapasitas Baterai (Ah)	100 Ah
Desain Pemakaian (Tahun)	10 Tahun

Gambar 3 menunjukkan mengenai karakteristik baterai VOLTA 6FMX100. Pada grafik tersebut terlihat hubungan antara tegangan dengan SOC pada baterai. Terdapat 2 kondisi, yang pertama adalah ketika variasi beban arus pengosongan ditampilkan ketika proses pengisian dan pengosongan baterai. Ketika baterai disuplai dengan arus pengisian yang semakin besar, maka nilai tegangan terminal yang dihasilkan pada nilai SOC semakin besar pula (Fatullah, Rahardjo, &

Husnayain, 2019), (Lavety, Keshri, & Chaudhari, 2020). Kondisi kedua adalah ketika baterai menyuplai arus pengosongan yang semakin tinggi maka nilai tegangan nominal baterai semakin kecil pada nilai SOC yang sama. SOC merupakan nilai yang merepresentasikan kapasitas dari baterai yang digunakan sistem. Ini dapat disebut juga sebagai sisa dari kapasitas baterai tersebut, sedangkan untuk DOD merupakan persentase dari kapasitas dari baterai VRLA yang telah digunakan. Untuk menentukan nilai SOC dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (3) sebagai berikut,

$$SoC = \frac{C_{releasable}}{C_{rated}} \quad (3)$$

$$SoC(\%) = \frac{C_{available}}{C_{max}} \times 100 \quad (4)$$

Kapasitas yang dapat dilepas ( $C_{releasable}$ ), dari baterai yang beroperasi adalah kapasitas yang dilepaskan ketika benar-benar habis. SOC merupakan persentase kapasitas yang dapat dilepaskan relatif terhadap kapasitas pengenal baterai ( $C_{rated}$ ), yang diberikan berdasarkan desain pabrik. Secara umum SOC dalam (Scott, Lu, Aburub, Sundararajan, & Sarwat, 2018), baterai adalah rasio kapasitas yang tersedia di dalam baterai terhadap kapasitas maksimum seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (4).

## Pemodelan dan Simulasi

Pemodelan baterai diuji berdasarkan karakteristik panel surya yang sudah dihitung berdasarkan kondisi *irradiance* matahari yang bervariasi. Nilai performa baterai dapat diketahui melalui simulasi menggunakan perangkat lunak PVSyst. 7.0. Hasil dan pembahasan dijelaskan dalam sub-bab berikut dengan skenario pengujian baterai selama 1 Tahun terhitung sejak 1 Januari hingga 31 Desember 2020.

Gambar 4 menunjukkan diagram skematik baterai VRLA yang dihubungkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1 kWp dan disimulasikan yang terdiri dari beberapa bagian yaitu panel surya (*PV array*), sistem baterai dan beban (*load*). Pada prinsipnya adalah ketika panel surya menerima energi dari cahaya matahari dan mengkonversikannya menjadi energi listrik, energi tersebut dialirkan ke baterai VRLA yang dimana fungsinya adalah menyimpan energi yang dialirkan dari input dan proses tersebut adalah proses pengisian (*charging*) pada baterai. Kemudian setelah energi dari *PV array* tersimpan pada baterai, beban menerima energi dari baterai untuk mengoperasikan beban tersebut, dan pada baterai proses tersebut dinamakan proses pengosongan baterai (*discharging*).

## Pengujian dan Analisis

Beberapa langkah pengujian dalam pemodelan dan simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini yang pertama adalah menentukan lokasi sehingga mendapatkan data meteorologi (Gambar 2), data ini kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak PVSyst. Kedua, mencari karakteristik panel surya berdasarkan *nameplate* yang terletak pada menu perangkat lunak PVSyst. Panel surya yang digunakan (lihat Tabel 1). Ketiga, menentukan salah satu jenis baterai yang tersedia pada perangkat lunak PVSyst yaitu VOLTA 6FMX100 12 V 100 Ah. Untuk spesifikasi baterai ini ditunjukkan oleh Tabel 2. Keempat, menentukan kebutuhan beban (*load*) atau beban. Beban yang dipakai pada simulasi penelitian ini adalah menggunakan beban lampu sebanyak 10 buah dengan daya 100 Watt dengan penggunaan energi selama 24 jam. Kelima, menganalisis performa baterai

berdasarkan pemakaian dan siklus baterai setelah penggunaan selama 1 tahun dan langkah terakhir adalah menentukan kapasitas baterai selama hari otonom (3, 4, 5) dibagi DOD baterai menggunakan persamaan (5) sebagai berikut,

$$Batt_{cap} = \frac{Jumlah_{Energi} \times Oto_{Day}}{DOD_{Batt}} \quad (5)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan baterai diuji berdasarkan karakteristik panel surya yang sudah dihitung berdasarkan kondisi *irradiance* matahari yang bervariasi.

### Arus Charging dan Discharging

Hasil pemodelan dan simulasi rangkaian baterai dengan beban linear 1 kW nilai arus *charging* dan *discharging* baterai ditunjukkan dalam Tabel 3 berikut,

Tabel 3. Nilai *Charging* dan *Discharging*

Bulan	IBat-Char (A)	IBat-Dischar (A)
Januari	5652,4	8432,8
Februari	6031,6	4683,0
Maret	7307,6	7029,8
April	7766,1	7035,1
Mei	8880,7	7028,8
Juni	7773,9	7047,7
Juli	8090,8	9390,0
Agustus	8864,7	7046,6
September	8511,2	8054,9
Oktober	7986,6	8363,6
November	7055,6	4695,8
Desember	6682,5	7026,2

Hasil pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak PVSyst, menghasilkan nilai perbandingan performa baterai VRLA pada sistem PLTS 1 kWp Laboratorium Teknik Elektro Unjani yang ditunjukkan dalam Tabel atas yang diprediksi dalam 1 Tahun. Meninjau hasil simulasi arus *charging* dan *discharging* selama 1 tahun. Tabel pada bulan pertama terlihat bahwa pada bulan tersebut arus pengosongan lebih tinggi dibandingkan dengan pengisian, hal tersebut terjadi dikarenakan baterai masih dalam kondisi 100% sehingga

proses pengisian belum dilakukan karena DOD masih dalam kondisi 0%.

Hasil pengujian mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu, dan proses pengisian mengalami peningkatan yang signifikan sedangkan proses pengosongan bergantung pada penurunan *irradiance*. Bulan Januari, Juli dan Oktober pengosongan mengalami peningkatan melebihi nilai pengisian.

**Analisis DOD dan SOC baterai PLTS**

Nilai SOC merupakan nilai yang menginterpretasikan kapasitas yang tersedia atau yang dapat digunakan pada baterai, sedangkan DOD merupakan nilai sebaliknya dari SOC yaitu merupakan nilai dari kapasitas yang sudah dipakai, dan umumnya SOC dan DOD dinyatakan dalam bentuk persen. Dengan ilustrasi jika baterai dalam kondisi *full charged* maka SOC baterai tersebut sebesar 100% dan DOD nya 0%.

Nilai SOC memperlihatkan keadaan muatan baterai yang dapat digunakan pada hari berikutnya sedangkan nilai DOD memperlihatkan pengosongan muatan baterai yang telah dilakukan selama hari tersebut. Adapun nilai SOC dan DOD dapat dilihat pada Tabel 4 berikut,

**Tabel 4.** Nilai SOC dan DOD Baterai

Bulan	SOC (%)	DOD (%)
Januari	30,8	69,2
Februari	31,3	68,7
Maret	32,0	68,0
April	31,9	68,1
Mei	32,5	67,5
Juni	32,4	67,6
Juli	31,9	68,1
Agustus	32,3	67,7
September	34,4	65,6
Oktober	30,7	69,3
November	32,1	67,9
Desember	30,5	69,5

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai SOC tertinggi dari baterai PLTS berada pada bulan September. Sedangkan nilai terendah berada pada bulan Desember. Adapun nilai tersebut adalah 34,4% dan 30,5%. Selanjutnya nilai DOD tertinggi dari baterai PLTS terdapat pada bulan Desember dengan nilai 69,5% dan nilai terendah terjadi pada bulan September dengan nilai 65,6%. Faktor yang mempengaruhi nilai SOC dan DOD dari baterai adalah jumlah arus pengosongan dan pengisian baterai di setiap harinya. Dimana jika terdapat arus pengisian pada baterai maka nilai SOC akan meningkat dan sebaliknya nilai DOD menurun.

**Tabel 5.** Karakteristik Operasi Penyimpanan, Kerugian, dan Siklus Baterai

Bulan	EbatLss (kWh)	EbatEff (kWh)	ESOCBal (kWh)	SOWCycl (%)	SOWStat (%)
Januari	5,964	4,649	-39,71	99,8	99,2
Februari	6,287	5,098	10,12	99,6	98,4
Maret	7,593	6,276	-4,03	99,4	97,5
April	7,711	6,439	1,32	99,2	96,7
Mei	8,869	7,548	13,79	99,0	95,9
Juni	7,632	6,359	1,36	98,8	95,0
Juli	7,866	6,557	-23,35	98,5	94,2
Agustus	8,505	7,191	13,65	98,3	93,3
September	8,095	6,825	-2,36	98,0	92,5
Oktober	8,036	6,724	-12,30	97,8	91,7
November	7,144	5,869	21,51	97,6	90,8
Desember	7,179	5,865	-11,19	97,4	90,0

**Tabel 6.** Karakteristik Energi Pengisian dan Pengosongan Baterai

Bulan	SOC_Beg (ratio)	SOC_End (ratio)	ChargeON (Jam)	DischON (Jam)	UBatCh (V)	UbatDis (V)
Januari	0,600	0,251	299	119	12,0	11,9
Februari	0,251	0,340	292	65	12,0	11,7
Maret	0,340	0,305	307	103	12,0	11,9
April	0,304	0,316	286	104	12,0	11,9
Mei	0,316	0,437	293	99	12,1	11,8
Juni	0,437	0,449	277	107	12,0	11,9
Juli	0,449	0,243	268	142	11,9	11,9
Agustus	0,243	0,363	299	109	12,0	11,9
September	0,363	0,343	273	121	12,0	11,9
Oktober	0,342	0,235	285	121	12,0	11,8
November	0,235	0,423	294	69	12,0	11,8
Desember	0,423	0,324	305	68	12,0	11,9

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi nilai DOD sebesar 60% adalah kondisi yang diharapkan paling ideal. Masa pakai baterai yang sebenarnya dipengaruhi oleh kecepatan dan kedalaman siklus dan oleh kondisi lain seperti temperatur dan kelembaban. Semakin tinggi DOD, semakin rendah siklus hidup. Baterai VRLA dengan *brand* setiap pabriknya merekomendasikan nilai DOD tidak melebihi 80% dengan alasan agar usia baterai tidak cepat menyusut performanya dan agar tidak merusak partikel-partikel yang ada pada baterai tersebut, dengan kata lain, jika nilai DOD melebihi 80% secara terus menerus, maka usia dari baterai tersebut tidak akan sesuai dengan klaim pabrik pembuat.

Baterai *lead acid* tersebut diklaim mampu bekerja baik dengan tegangan nominal atau dengan nilai SOC baterai. Oleh karena itu, dalam hal ini tegangan operasi baterai sangat penting.

Efisiensi disini dimaksudkan bukan efisiensi penyerapan dari energi matahari terhadap panel surya, akan tetapi merupakan efisiensi yang diukur antara energi yang disuplai oleh sel surya dan energi akhir yang dikirim oleh baterai ke beban. Sehingga, dapat diasumsikan terdapat beberapa rugi daya yang terjadi dalam proses tersebut misalnya, rugi – rugi pada penghantar konduktor antara panel surya ke *solar charge controller* (SCC), rugi – rugi penghantar antara SCC ke baterai dan penghantar dari baterai menuju beban, serta

kerugian yang terjadi pada sistem penyimpanan energi atau baterai itu sendiri.

#### **Efisiensi Baterai VRLA Saat Proses Charge dan Discharge**

Kapasitas baterai VRLA 100 Ah dengan tegangan sebesar 12 V yang digunakan memiliki hubungan terhadap karakteristik kerja baterai tersebut. Kapasitas yang didefinisikan sebagai arus dalam (Ah) diambil dari baterai ketika dalam keadaan terisi penuh. Umumnya karakteristik utama dengan tegangan nominal (12 V) yang menentukan baterai. Namun, kapasitas baterai tergantung pada laju arus *charge* atau *discharge*, temperatur baterai, penuaan.

Nilai SOC tidak didefinisikan dengan baik sekalipun ada SCC yang menyeimbangkan arus *charge* dan *discharge*. Variasi SOC sangat bergantung pada kondisi pengoperasian ini. Efisiensi baterai tersebut diukur berdasarkan Usia pemakaian dari baterai. Nilai efisiensi ketika mensuplai beban 10 lampu 100 Watt ditunjukkan oleh Tabel 5 dengan hasil bahwa nilai efisiensi baterai pada bulan Januari adalah 99,2%, bulan Februari 98,4%, bulan maret 97,5%, bulan April 96,7%, bulan Mei 95,9%, bulan Juni 95%, bulan Juli 94,2%, bulan Agustus 93,3%, bulan September 92,5%, bulan Oktober 91,7%, bulan November 90,8% dan bulan Desember 90%. Nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada bulan pertama dengan nilai 99,2%. Sedangkan nilai efisiensi terendah didapatkan pada bulan terakhir dengan nilai

90%. Perbedaan nilai efisiensi tersebut menunjukkan terdapat nilai penyusutan setiap bulan.

Hasil menunjukkan bahwa pada bulan Januari didapatkan nilai 99,2%, pada bulan Februari didapatkan nilai 98,4%, pada Bulan Maret 97,5% dan pada bulan April 96,7%. Berdasarkan data tersebut nilai efisiensi baterai mengalami penyusutan sebesar 1%. Nilai penyusutan tersebut konstan di setiap bulan. Namun, pada bulan Mei ke Juni dan bulan November ke Desember penurunan < 1%. Baterai VOLTA 6FMX100 setiap bulan diprediksi mengalami penyusutan nilai efisiensi sebesar  $\pm 1\%$ .

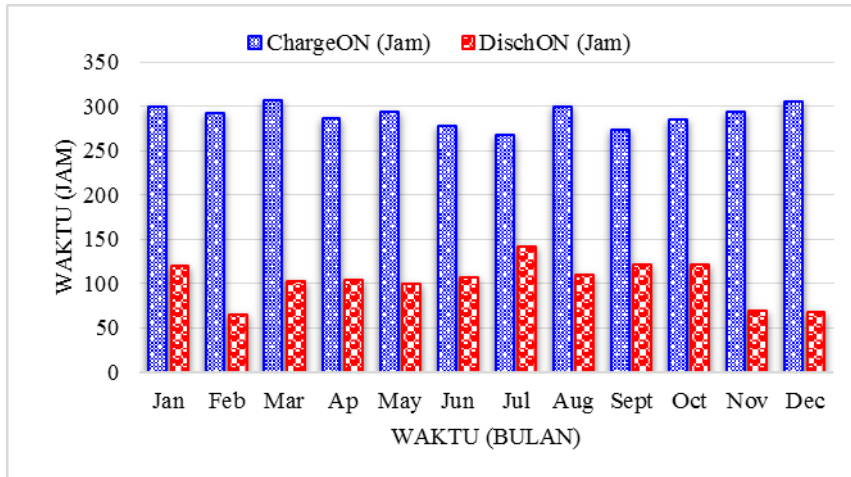
### **Siklus Baterai VRLA Saat Proses Pemakaian**

Berdasarkan nilai efisiensi baterai pada saat proses *charge* dan *discharge*, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai efisiensi setiap bulannya. Selain itu, terdapat penyusutan nilai efisiensi setiap bulannya. Hal ini terjadi karena terdapat proses *charge* atau *discharge* pada baterai PLTS setiap harinya tergantung kebutuhan. Dimana ketika terdapat proses *charge* atau *discharge* maka terjadi reaksi oksidasi. Ketika terjadi reaksi oksidasi maka akan merusak sel - sel baterai secara perlahan. Hal ini akan menimbulkan nilai efisiensi mengalami penyusutan. Oleh karena itu, semakin sering baterai mengalami proses *charge* dan *discharge* maka mempengaruhi efisiensi dari baterai.

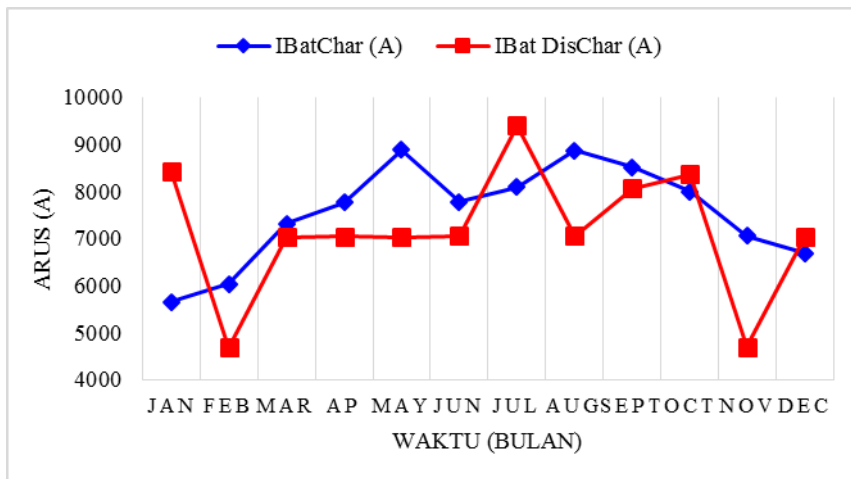
Hal tersebut terjadi karena baterai mengalami siklus melalui reaksi oksidasi. Sehingga dapat diketahui bahwa siklus dan lama penyimpanan baterai dapat mempengaruhi performa atau Usia dari baterai tersebut. Hasil yang ditunjukkan dalam Tabel 5 adalah siklus pada baterai 6FMX100 mengalami penurunan selama penggunaan selama 1 tahun. Siklus baterai menunjukkan penurunan dari 99,8% pada bulan Januari hingga 97,4% pada bulan Desember, hal ini disebabkan oleh jumlah siklus *charging* dan *discharging* pada baterai dalam 1 tahun, sehingga terjadi penurunan persentase baterai sebesar 2,4% siklus dalam 1 tahun.

Nilai tersebut dikategorikan baik, dengan alasan nilai DOD pada baterai tidak melebihi dari rekomendasi pabrik yang dimana rata-rata setiap pabrik memberikan rekomendasi nilai DOD tidak lebih dari 80%, dengan alasan untuk menjaga usia baterai lebih tahan lama atau minimal sesuai dengan *claim* pabrik yaitu 10 tahun. Nilai DOD dari baterai 6FMX100 adalah berkisar pada nilai 60% hingga 69% dan bahkan baterai tidak mendekati nilai pengosongan hingga 80%. Maka dari itu, nilai penyusutan efisiensi siklus baterai sebesar yang dihasilkan hanya sebesar 2,4%. Nilai ini menjadi nilai referensi yang sesuai jika merujuk pada nilai DOD yang telah direkomendasikan oleh pabrik (manufaktur) pembuat baterai.

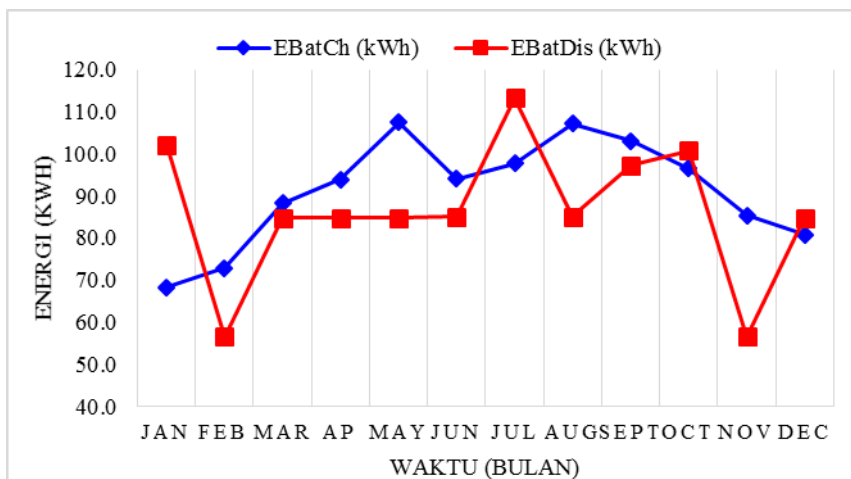




**Gambar 5.** Waktu *Charging* dan *Discharging* Baterai Selama 1 Tahun



**Gambar 6.** Arus *Charging* dan *Discharging* Baterai Selama 1 Tahun



**Gambar 7.** Energi yang dibutuhkan pada saat *Charging* dan *Discharging* Baterai Selama 1 Tahun

## Siklus Baterai VRLA terhadap Faktor Aging

Penuaan atau keausan baterai terjadi dan dievaluasi berdasarkan kondisi operasinya. Oleh karena itu prediksi perbaikan, pemeliharaan bahkan pergantian merupakan yang harus direncanakan. Baterai VOLTA 6FMX100 diklaim mampu beroperasi hingga 10 Tahun. Untuk menelusuri hal tersebut perlu diperhatikan efek dari penuaan baterai terhadap jumlah siklus baterai tersebut. Fenomena penuaan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain yang pertama adalah sifat statis baterai, faktor baterai ini harus dalam keadaan digunakan secara kontinyu atau tidak. Parameter yang sering diberikan oleh pabrik pembuat adalah pada temperatur referensi (20°C). Namun, dalam operasinya kondisi baterai sangat bervariasi terhadap temperatur dan sebagian besar baterai akan mengalami penurunan atau berkurang dengan kenaikan suhu 10°C. Faktor kedua adalah faktor kerusakan selama penggunaan. Hal ini tergantung dari jumlah siklus dan kedalaman (DOD) saat terjadi dalam kondisi pembuangan terhadap setiap siklus (lihat Tabel 5).

Total energi yang disimpan selama masa operasi baterai diketahui dengan mengalikan nilai DOD dengan jumlah siklus baterai. Siklus rata – rata hasil simulasi menunjukkan tahapan setiap waktu pengosongan sehingga penuaan (aus) baterai sebanding dengan arus namun dibebankan dengan tingkat kedalaman aktual saat kondisi pembuangan. Hasil simulasi menunjukkan jenis penuaan yang bervariasi dari 1 atau 100% (baterai baru) hingga 0% (baterai yang lama atau baterai yang akan diganti). Variabel tersebut adalah *State of Wearing Cycle* (SOWCycl) yang berarti keausan dinamis karena jumlah siklus pada baterai dan *State of Wearing Static* (SOWStat) yang berarti keausan statis pemakaian karena usia baterai. Tidak terlihat signifikan antara siklus dinamis dan siklus statis hasil pengujian pada Tabel 5, dimana baterai VOLTA 6FMX100 memiliki rata – rata SOWCycl 97,4% dan SOWStat 90,0% selama 1 Tahun.

Tabel 6 menunjukkan hasil dari arus SOC yang merupakan kapasitas baterai yang sebenarnya, yang ditentukan pada arus nominal tetapi bervariasi dengan tingkat temperatur arus

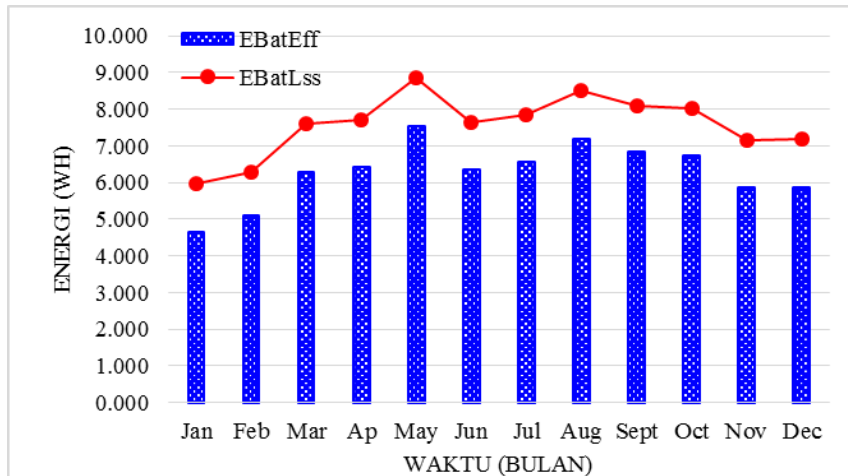
pengosongan. Oleh karena itu untuk menentukannya dapat berbeda antara pada saat pengisian dan pemakaian. Pengurangan ini dapat dianalisis berdasarkan jumlah *Stored Energy Balance* (ESOCBal). ESOCBal merupakan hasil dari status Akhir SOC saat pengisian di akhir interval waktu tertentu (SOCEnd) dikurangi dengan status awal SOC saat pengisian di awal interval waktu tertentu (SOCBeg). Dalam hal ini rata – rata 1 Tahun menghasilkan 0,600 : 0,300.

Gambar 5 – Gambar 7 menunjukkan energi baterai berdasarkan arus saat pengisian dan pengosongan baterai. Fluktuasi arus dan energi bergantung pada tingkat *irradiance* yang diterima oleh panel surya pada PLTS 1 kWp yang kemudian terhubung dengan tegangan baterai nominal sesuai spesifikasi (12V). Terdapat 2 faktor yang perlu diperhatikan dari Energi Pengisian Baterai (EBatCh) selama pengujian. Faktor yang pertama adalah (UBatt) tegangan rata - rata baterai dalam keadaan atau dalam kondisi apapun, kemudian yang kedua adalah Tegangan Baterai (UBatCh) yaitu tegangan baterai selama operasi pengisian atau pada saat proses (*charging*) yang ditunjukkan pada grafik Durasi Pengisian (ChargeON) dan Durasi yang dibutuhkan selama pengosongan (DisChargeON) yang dihitung dalam satuan Jam (*Hour*) lihat Gambar 5 Waktu *Charging* dan *Discharging* Baterai Selama 1 Tahun.

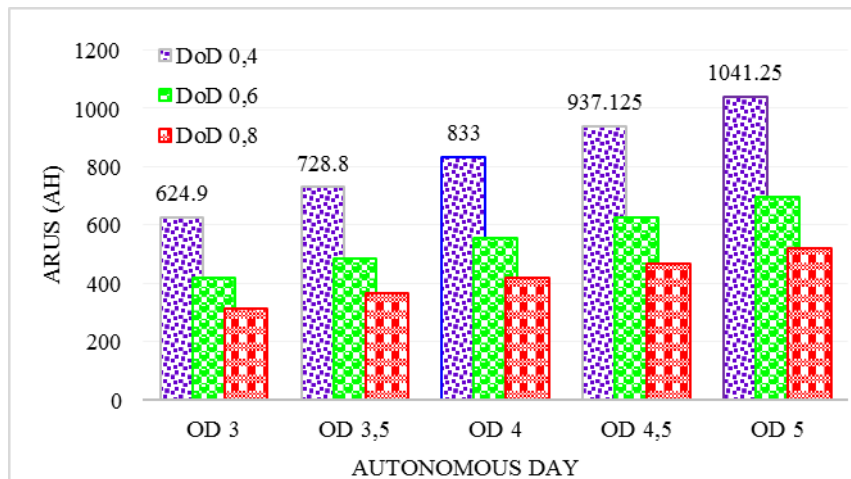
Gambar 8 menunjukkan *Battery global energy loss* (EBatLss) atau Total Energi yang hilang akibat dari pengurangan energi ketika proses pengisian, proses pengosongan, dan *Stored Energy Balance* sehingga nilai (EBatLss = EBatCh - EBatDis - ESOCBal). Sedangkan arus efektif baterai (IBattEff) merupakan hasil perkalian antara rugi – rugi baterai pada saat pengisian atau pengosongan (IBeffl) dengan tegangan rata – rata dalam kondisi apapun (UBatt).

**Tabel 7.** Nilai DOD terhadap jumlah Siklus Baterai VOLTA 6FMX100

No.	Depth of Discharge (%)	Jumlah siklus
1.	20	1600
2.	50	1000
3.	80	700



**Gambar 8.** Efisiensi Energi Baterai terhadap Rugi-rugi Energi Baterai Selama 1 Tahun



**Gambar 9.** Perhitungan Kapasitas Baterai 12 V Saat Hari Otonom

### Kapasitas Baterai VRLA terhadap Hari Otonom

Hari otonomi adalah kondisi dimana panel surya tidak menerima sinar matahari, jumlah hari otonomi berkisar 2 – 4 hari dalam 1 minggu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini melakukan perhitungan dengan asumsi hari otonomi sebanyak 5 parameter yaitu 3 , 3,5 , 4 , 4,5 dan 5 hari dengan nilai DOD sebesar 0,4 (40%), 0,6 (60%) dan 0,8 (80%). Merujuk pada persamaan (5) , maka hasil dari perhitungan kapasitas baterai terhadap hari otonom ditunjukkan Gambar 9.

### KESIMPULAN

Siklus operasi baterai mengalami penurunan yang disebabkan oleh jumlah siklus *charging* dan *discharging* pada baterai, sehingga terjadi penurunan persentase baterai sebesar 2,4% selama 1 tahun. Usia baterai mengalami

penyusutan sebesar 10% sesuai dengan *nameplate* pabrik pembuat. Persentase DOD besar namun arus yang dihasilkan kecil adalah karena siklus baterai 0,8 (80%) adalah sebanyak 700 siklus dan pada kondisi DOD sebesar 0,4 (40%) terjadi 1300 siklus, yang menyebabkan DOD 0,4 (40%) menghasilkan lebih banyak arus dibandingkan dengan kondisi DOD baterai sebesar 0,8 (80%).

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada LPPM Unjani yang telah memberikan hibah internal dengan nomor Skep/129/Unjani/V/2020. Dimana makalah ini merupakan bagian dari penelitian, dan tidak lupa penulis juga mengucapkan terimakasih kepada panitia Semnaslit UMJ 2020 yang mana makalah ini menjadi makalah terbaik Semnaslit 2020 yang kemudian diterbitkan di Jurnal Teknologi UMJ.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dellosa, J. T. (2016). Potential Effect and Analysis of High Residential Solar Photovoltaic (PV) Systems Penetration to an Electric Distribution Utility (DU). *International Journal of Renewable Energy Development*, 5(3), 179. <http://doi.org/10.14710/ijred.5.3.179-185>
- Dimitrov, V. V., & Goranov, P. T. (2017). Methods and Power Converters for Charging / Formation of VRLA Batteries. In *XXVI International Scientific Conference Electronics (ET)* (pp. 1–4). Sozopol: IEEE. <http://doi.org/0.1109/ET.2017.8124340>
- Fatullah, M. A., Rahardjo, A., & Husnayain, F. (2019). Analysis of discharge rate and ambient temperature effects on lead acid battery capacity. In *2nd IEEE International Conference on Innovative Research and Development, (ICIRD)*. (pp. 7–11). Jakarta: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICIRD47319.2019.9074667>
- Iskandar, H. R., & Fakhri, Z. (2018). Optimum Tilt Angle and Near Shading Analysis for 1000 Watt Peak Photovoltaic Application System. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* (pp. 1–12). Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta. Retrieved from <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3425>
- Iskandar, H. R., Sambasri, S., Saputra, D. I., Heryana, N., Purwadi, A., & Marsudiono. (2019). IoT Application for On-line Monitoring of 1 kWp Photovoltaic System Based on NodeMCU ESP8266 and Android Application. In *2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)* (pp. 230–234). Bali: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011154>
- Iskandar, H. R., Zainal, Y. B., & Sambasri, S. (2018). Study and Analysis of Shading Effects on Photovoltaic Application System. *1st International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE) International Board and Program Committee*, 218(2004), 1–8. <http://doi.org/https://doi.org/10.1051/mateconf/201821802004>
- Jain, K., Gupta, M., & Kumar Bohre, A. (2018). Implementation and Comparative Analysis of PO and INC MPPT Method for PV System. In *India International Conference on Power Electronics, IICPE* (pp. 1–6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/IICPE.2018.8709519>
- Lavety, S., Keshri, R. K., & Chaudhari, M. A. (2020). Non-linear I-V Behavior of a VRLA Battery During Discharging. In *International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020)* (pp. 1–5). Cochin: IEEE. <http://doi.org/10.1109/PESGRE45664.2020.9070499>
- Liang, Z., Song, Z., Wang, J., Zhang, G., & Wang, X. (2019). Residual Capacity Estimation of Valve-regulated Lead-acid (VRLA) Batteries for Second-use. In *IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)* (pp. 2650–2654). Chengdu: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2019.8881200>
- Scott, D. S., Lu, J., Aburub, H., Sundararajan, A., & Sarwat, A. I. (2018). An intelligence-based state of charge prediction for VRLA batteries. In *2017 IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC)*. (pp. 1–4). Pune: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ITEC-India.2017.8333847>
- Xijun, L., Jiayu, R., Libin, Y., & Wei, H. (2017). Research on output controllability of photovoltaic grid connected generation system with hybrid energy storage. In *International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA)* (pp. 92–95). <http://doi.org/10.1109/ICSGEA.2017.44>
- Zou, X., Jiang, F., & Liu, H. (2016). Performance Analysis of a Rooftop PV Plant and a Desert PV Plant. In *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)* (pp. 6173–6176). Yinchua: IEEE. <http://doi.org/10.1109/CCDC.2016.7532107>