

## MANAJEMEN PENGISIAN BATERAI LI-ION DENGAN ALGORITMA SORTING PADA PEMBANGKIT PHOTOVOLTAIC (PV)

Edi Maulana<sup>1</sup>, Yuwaldi Away<sup>2</sup>, Ira Devi Sara<sup>3</sup>

Universitas Syiah Kuala, Aceh, Banda Aceh, Indonesia<sup>1,2,3</sup>

Email: edi.maulana@yahoo.com<sup>1</sup>, yuwaldi@usk.ac.id<sup>2</sup>, ira.sara@usk.ac.id<sup>3</sup>

### Abstrak

Pembangkit tenaga surya terdiri dari komponen *solar panel*, sistem *control*, sistem penyimpanan, dan *inverter*. Tenaga matahari disimpan dalam baterai dan disalurkan ke *inverter* untuk digunakan oleh beban. Salah satu jenis kimia baterai yang sering digunakan yaitu lithium-ion yang memiliki kapasitas besar namun membutuhkan ruang yang kecil. Baterai lithium sangat berpengaruh dengan suhu, *over charge*, *deep charge*, dan *over discharge* yang menyebabkan umur pemakaian baterai menjadi pendek sehingga harus diganti ketika mencapai batas tertentu. Dibutuhkan sistem manajemen pengisian daya baterai untuk memperpanjang umur baterai. Penelitian ini mengimplementasikan algoritma berbasis *sorting* pada *control* pengisian baterai dengan mempertimbangkan suhu, *state of charge*, dan *state of health* disertai dengan proteksi *over charge*, *deep charging* dan *over discharge*. Algoritma dikembangkan untuk dapat membaca ketersediaan sinar matahari dan kebutuhan beban sampai waktu diperlukan. Penelitian dilakukan secara simulasi sehingga dapat menjalankan berbagai skenario fluktuasi sinar matahari dan fluktuasi beban. Dengan implementasi algoritma ini diharapkan dapat memajemen pengisian baterai secara efektif dan efisien serta memperpanjang umur baterai. Hasil pengujian dengan skenario *irradiance* besar dan beban besar menunjukkan nilai *battery cycle* sebesar 80 *cycle* (dengan waktu simulasi 10 hari), skenario pengujian *irradiance* besar dan beban kecil menunjukkan nilai 40 *cycle*, skenario *irradiance* kecil beban besar menunjukkan nilai *cycle* sebesar 20 *cycle*, dan skenario pengujian *irradiance* kecil dan beban kecil pada nilai 15 *cycle*. Semua baterai memiliki SOC dan *cycle* yang berbeda. Hasil manajemen menunjukkan bahwa *cycle* baterai dapat dikurangi secara keseluruhan dengan melakukan proses *sorting* untuk *charging/discharging* di setiap *cell* baterai.

**Kata Kunci** : *Standalone PV*, *solar panel*, *inverter*, *state of charge*, *over charge*, *over discharge*, *deep charging*, algoritma *sorting*.

### Abstract

The solar power plant consists of solar panel components, control systems, storage systems, and inverters. Solar power is stored in batteries and supplied to the inverter for use by the load. One type of battery chemistry that is often used is lithium-ion which has a large capacity but requires little space. Lithium batteries are very influential with temperature, over charge, deep charge, and over discharge which cause the battery life to be short, so it must be replaced when it reaches a certain limit. It takes a battery charge management system to extend battery life. This study implements a sorting algorithm based on battery charging control by considering temperature, state of charge, and state of health along with protection over charge, deep charging and over discharge. The algorithm was developed to be able to read the availability of sunlight and load requirements until the time needed. The research was conducted in a simulation so that it could run various scenarios of fluctuating sunlight and load fluctuation. With the implementation of this algorithm, it is hoped that it can manage battery charging effectively and efficiently and extend battery life. The test results with large irradiance scenarios and large loads show a battery cycle value of 80 cycles (with a simulation time of 10 days), large irradiance test scenarios and small loads show a value of 40 cycles, small irradiance scenarios with large loads show a cycle value of 20 cycles, and scenarios small irradiance test and small load at a value of 15 cycles. All batteries have a different SOC and cycle. The optimization results show that the overall battery cycle can be reduced by managing the charging / discharging process in each battery cell.

---

**How to cite:** Maulana, E., Away, Y., & Sara, I. D. (2024). Manajemen Pengisian Baterai Li-Ion dengan Algoritma Sorting pada Pembangkit Photovoltaic (PV). *Syntax Literate*. (9)4. <http://dx.doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i4>

**E-ISSN:** 2548-1398

**Published by:** [Ridwan Institute](#)

---

**Keywords:** *Standalone PV, solar panels, inverters, state of charge, over charge, over discharge, deep charging, sorting algorithm.*

## **Pendahuluan**

Mengingat berkurangnya energi dari fosil dan perlindungan lingkungan, energi terbarukan seperti angin dan matahari (*solar*) sudah digunakan semenjak beberapa decade (Ghaniyyu & Husnita, 2021). Energi matahari (*solar*) mempunyai keunggulan yaitu tersedia bebas, tanpa polusi, rendah pemeliharaan, tersedia disemua belahan dunia, dan tidak bising dikarenakan tidak mempunyai komponen bergerak (Muslim et al., 2020; Silitonga & Ibrahim, 2020). Terdapat dua jenis sistem pembangkit tenaga matahari (*photovoltaic/PV*) yaitu : sistem PV *standalone* dan sistem PV terhubung *grid*. Perubahan sinar matahari mengakibatkan kebutuhan penyimpanan daya pada baterai *bank* (Chan & Gu, 2010; Chen et al., 2012; Gholizadeh & Salmasi, 2013). Terdapat banyak jenis kimia baterai yang digunakan salah satunya berbasis Lithium-ion (Li-ion) yang mempunyai katakteristik *charging* tersendiri. Penyimpanan daya pada baterai mengakibatkan naiknya suhu cell baterai yang berakibat pada pendeknya umur pemakaian (Bartlett et al., 2015; Eom et al., 2017), selain itu masalah seperti *over charge*, *over discharge*, *deep discharge*, dan *cycle count* menjadi pertimbangan penting dalam pengembangan sistem manajemen baterai (C. Zou et al., 2015).

Terdapat beberapa metode yang telah digunakan untuk melakukan manajemen pengisian baterai salah satunya *cell qualization* (Amanor-Boadu et al., 2017; Y. Zou et al., 2015) dimana sistem ini digunakan jika baterai *pack* mempunyai bahan kimiawi berbeda dan melakukan *monitoring* setiap baterai ketika dalam keadaan *charge* dan *discharge* (Azis, 2022). Kelemahan sistem ini adalah tidak adanya pemilihan baterai mana yang akan *charge* ataupun *discharge* selanjutnya mengingat fluktuasi dari sinar matahari dan fluktuasi pemakaian beban. Memilih baterai mana yang akan *charge* dan *discharge* seiring perubahan sinar matahari dan beban dengan mempertimbangkan suhu, *state of charge* (SOC), *state of health* (SOH), dan *cycle count* menjadi dasar penelitian ini (Abbas et al., 2023; Kumar et al., 2017).

Penelitian ini mengimplementasikan algoritma *sorting* pada *controller* manajemen pengisian baterai dengan mempertimbangkan fluktuasi sinar matahari dan beban, serta pertimbangan suhu, SOC dan *charge cycle* untuk mengurutkan kelompok baterai yang akan *charge* dan kelompok baterai yang akan *discharge*. Baterai yang memiliki *charge cycle* yang paling kecil akan digunakan lebih jarang dan sebaliknya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem manajemen baterai pada pembangkit PV *standalone* dengan menerapkan algoritma *sorting* pada pengisian setiap baterai. Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengembangkan sistem manajemen *charging* dan *discharging* baterai yang adaptif terhadap ketersediaan sumber daya matahari, kebutuhan beban, dan *state of charge* (SOC) pada setiap baterai sehingga dapat memperpanjang umur baterai dengan mengurangi *state of charge* baterai secara keseluruhan dengan menerapkan algoritma *sorting* SOC pada masing-masing baterai ketika proses *charge* dan *discharge*
- 2) Menganalisa respon baterai dengan mengimplementasikan algoritma *sorting* terhadap *state of charge* pada setiap baterai dengan menganalisa nilai SOC pada semua baterai sehingga dapat ditentukan efektifitas kinerja algoritma terhadap manajemen baterai yang dijalankan dengan berbagai skenario intensitas matahari dan intensitas beban secara bervariasi.

## **Metode Penelitian**

### **Teknik Penelitian Dan Metode Manajemen Pengisian Baterai**

Penelitian ini menggunakan metode simulasi dari pemodelan sistem pembangkit *photovoltaic* (PV) yang meliputi pemodelan panel PV, *dc-dc converter*, *battery bank*, *inverter*, dan beban (Husnayain & Luthfy, 2020). Algoritma dikembangkan dengan bahasa matlab. Data intensitas matahari dan skenario pemakaian beban dihasilkan secara *prosedural*.

Sistem manajemen dimulai dengan membaca arus (I) dan tegangan (V) pada setiap elektrode baterai untuk menentukan *state of charge* (SOC) dan *state of health* (SOH). Jika SOC

dari baterai dibawah 100 % (belum penuh) maka sistem membaca intensitas matahari untuk menentukan apakah intensitas chaya cukup untuk melakukan *charging* terhadap baterai, jika intensitas tidak cukup maka baterai masuk dalam mode *standby*. Jika intensitas cahaya matahari cukup maka sistem melakukan *sorting charging* berdasarkan SOC baterai.

## Bahan Penelitian

### Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan *persoal computer* (PC) untuk perancangan model, pengembangan algoritma, dan menjalankan simulasi matlab/simulink dengan spesifikasi prosesor Intel Core i5 (*quad core*), *random access memory* (RAM) 16 GB. *Software* matlab/simulink 2020a 64 bit digunakan untuk perancangan model, membangun algoritma dan menjalankan simulasi.

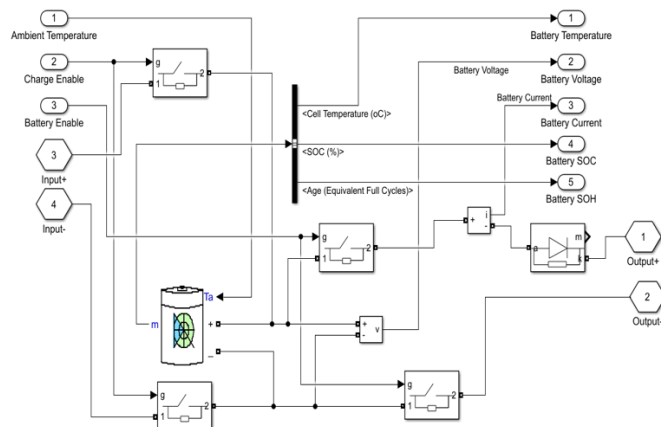
### Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dengan mengimplementasikan algoritma *sorting* untuk *charging* manajemen menggunakan *software* matlab/simulink. Data intensitas (*irradiance*) matahari dihasilkan secara prosedural disertai data skenario fluktuasi beban. Setiap subsistem model simulasi ditampilkan dalam grafik. Hasil total berupa SOC pada masing-masing baterai disimpan dalam *file* disertai dengan lama penggunaan baterai berdasarkan waktu simulasi. Penelitian ini menjalankan simulasi pemakaian baterai selama 10 hari dalam lingkungan simulasi untuk melihat hasil kinerja sistem manajemen pengisian baterai.

## Hasil dan Pembahasan

### Perancangan Model dan Analisa Charging/Discharging Baterai Lithium-Ion

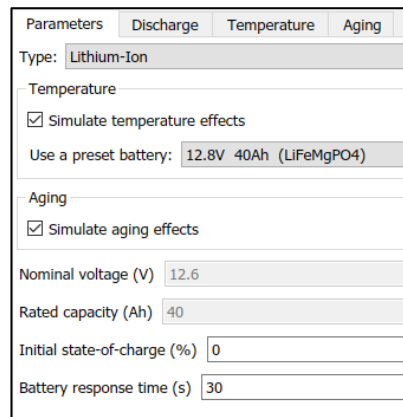
Perancangan model baterai Lithium-Ion menggunakan Matlab/Simulink dilakukan. Perancangan model baterai menggunakan blok *function* battery dengan spesifikasi rating 3,6 Volt, 2.0 Ah. Model baterai yang digunakan juga diatur dalam mode “*Simulate Temperature*” dan “*Simulate Ageing Effect*” seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.2 untuk mendapatkan variasi variable dari model baterai ketika terjadi variasi suhu dan proses penuaan baterai secara simulasi. Perancangan blok baterai terdiri dari *switch* untuk memulai dan menghentikan proses *charging*, *switch* untuk memulai dan menghentikan proses *discharging*, pengukuran tegangan sirkuit tertutup (*closed circuit voltage measurement*), pengukuran arus (*current measurement*), dan terminal untuk menghubungkan blok sistem baterai dengan blok sistem lain seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perancangan Blok Model Baterai Lithium-Ion

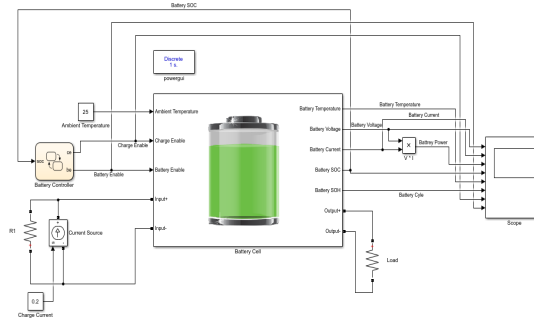
Pemodelan baterai yang dirancang terdiri dari *cell* baterai sebagai model utama baterai, 2 (dua) *ideal switch* yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus arus ketika mode *charging*, 2 (dua) *ideal switch* yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus arus ketika mode *discharging*, *current sensor*, *voltage sensor*, dan *power input/output*. Ketika *gate Charge Enable*

aktif, maka kedua *ideal swith* akan menghubungkan *cell* baterai dengan *power input*, dan ketika *gate Battery Enable* aktif, maka kedua *ideal swith* lainnya akan menghubungkan baterai dengan *power output*.

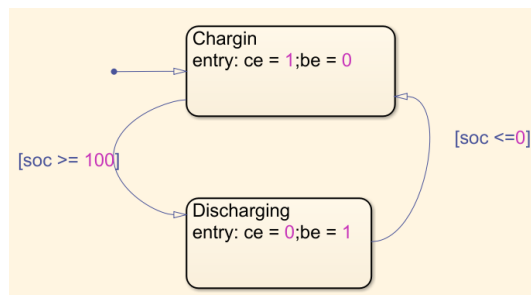


**Gambar 2. Parameter model baterai Lithium-Ion**

Parameter cell baterai yang digunakan terdiri dari opsi untuk mensimulasikan pengaruh suhu, simulasi penuaan (aging) baterai, preset baterai 12.8 Volt, 40Ah, tegangan nominal 12,6 Volt, dan kapasitas 40 Ah, nilai awal SOC 0%, dan waktu respon baterai selama 30 detik. Input dan output sistem blok baterai terdiri dari *Ambient temperature* untuk membaca suhu ambient baterai, *Charge Enable* untuk mengaktifkan/non-aktifkan proses *charging* baterai, *Battery enable* untuk mengaktifkan/non-aktifkan pemakaian (*discharge*) baterai, *Input positif* dan *input negative* untuk jalur masuknya arus ke baterai, *Battery temperature* untuk mendapatkan suhu *cell* baterai, *Battery voltage* untuk mendapatkan tegangan *closed circuit* baterai, *Battery current* untuk mendapatkan arus yang keluar dari baterai, *Battery SOC (state of charge)* untuk mendapatkan nilai persentase *charging* baterai, *charge cycle* untuk mendapatkan nilai kesehatan baterai yang menjadi parameter penuaan baterai. Simulasi model baterai untuk melihat performa baterai ketika proses *charge* dan *discharge* dengan skenario dilakukan. Blok fungsi *cell* baterai dirangkai dengan sumber arus yang berfungsi sebagai sumber daya ketika proses *charging*, dan dirangkai dengan *Load* (beban) pasif yang berfungsi sebagai beban untuk proses *discharging*.



**Gambar 3. Perancangan simulasi charging/ discharging satu cell baterai Lithium-Ion**



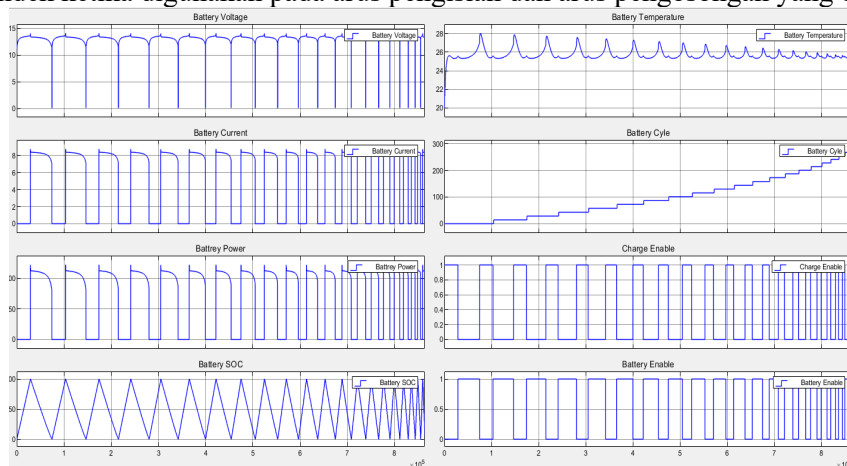
**Gambar 4. State machine charging dan discharging controller baterai Lithium-Ion**

Gambar 3 memperlihatkan hasil perancangan simulasi untuk proses *charging* dan *discharging* pada *one cell* baterai. Rangkaian simulasi juga terdiri dari *charge controller* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4 yang berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan sumber arus serta beban. *Charge controller* diatur untuk melakukan proses *charge* dan *discharge* dengan berbagai skenario seperti yang disebutkan dalam butir berikut.

1. Skenario arus *charge* besar dan arus *discharge* besar
2. Skenario arus *charge* besar dan arus *discharge* kecil
3. Skenario arus *charge* kecil dan arus *discharge* besar
4. Skenario arus *charge* kecil dan arus *discharge* besar

#### ***Skenario arus charge besar dan arus discharge besar***

Pengujian dengan skenario arus *charge* besar dan arus *discharge* besar dilakukan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon *cell* baterai ketika diatur untuk *charge* (pengisian) dan *discharge* (pengosongan) dengan arus *charge* dan arus *discharge* besar. Arus yang digunakan untuk proses pengisian dilakukan pada arus 5 Ampere, dan arus yang digunakan oleh beban ketika pengosongan baterai terjadi pada 8,3 Ampere. Hal ini bertujuan untuk melihat respon baterai ketika *cell* baterai yang sering digunakan karena pengisian dan pemakaian pada nilai yang besar sehingga terjadi peningkatan pada nilai SOC baterai. Pada grafik pengujian dapat dilihat bahwa performa baterai turun ketika sudah melewati *charge cycle* diatas 100 cycle. Total *cycle* yang didapat ketika simulasi dijalankan selama 10 hari (waktu simulasi) menunjukkan nilai 297 *cycle*. Suhu maksimum yang didapat pada nilai 28 °Celsius. Semakin besar nilai *cycle* maka semakin besar frekuensi pengisian dan pengosongan baterai yang menandakan bahwa umur baterai menjadi pendek ketika digunakan pada arus pengisian dan arus pengosongan yang besar.



**Gambar 5. Grafik pengujian skenario arus charge besar dan arus discharge besar**

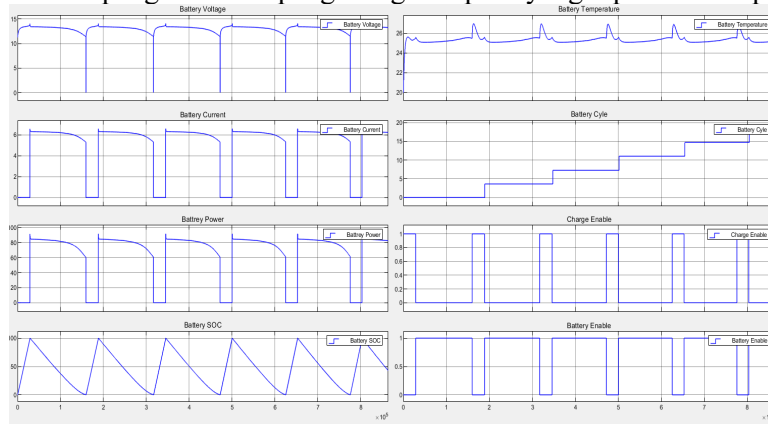
#### ***Skenario arus charge besar dan arus discharge kecil***

Pengujian dengan skenario arus *charge* besar dan arus *discharge* kecil dilakukan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon *cell* baterai ketika diatur untuk *charge* (pengisian) dan *discharge* (pengosongan) dengan arus *charge* besar dan arus *discharge* kecil. Arus yang digunakan untuk proses pengisian dilakukan pada arus 5 Ampere, dan arus yang digunakan oleh beban ketika pengosongan baterai terjadi pada 6,2 Ampere. Total *cycle* yang didapat ketika simulasi dijalankan selama 10 hari (waktu simulasi) menunjukkan nilai 18 *cycle*.

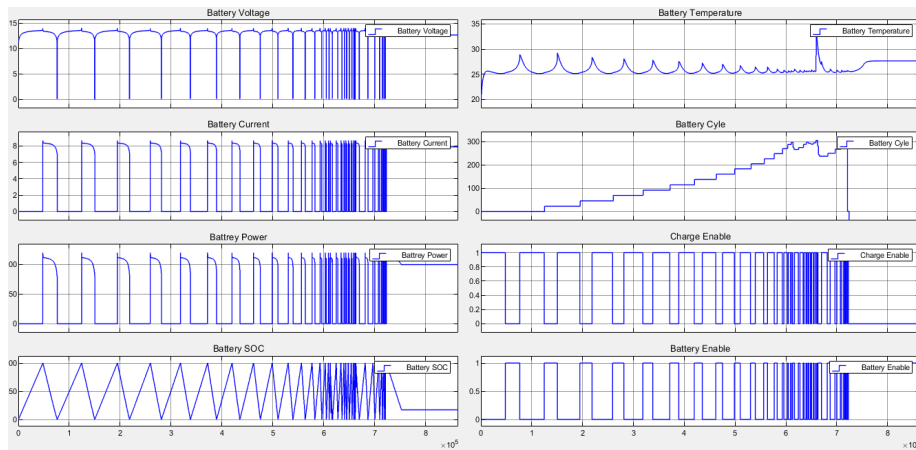
#### ***Skenario arus charge kecil dan arus discharge besar***

Pengujian dengan skenario arus *charge* besar dan arus *discharge* besar dilakukan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon *cell* baterai ketika diatur untuk *charge* (pengisian) dan *discharge* (pengosongan) dengan arus *charge* dan arus *discharge* besar. Arus yang digunakan untuk proses pengisian dilakukan pada arus 3 Ampere, dan arus yang digunakan oleh beban ketika

pengosongan baterai terjadi pada 8,3 Ampere. Hal ini bertujuan untuk melihat respon baterai ketika *cell* baterai yang sering digunakan karena pemakaian pada nilai yang besar sehingga terjadi peningkatan pada nilai SOC baterai secara cepat. Pada grafik pengujian dapat dilihat bahwa performa baterai turun bahkan mengalami break down ketika sudah melewati charge cycle diatas 300 cycle bahkan sebelum 10 hari (waktu simulasi). Baterai yang sudah melewati 300 cycle tidak dapat digunakan untuk pengisian atau pengosongan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.7.



Gambar 6. Grafik pengujian skenario arus charge besar dan arus discharge kecil



Gambar 7. Grafik pengujian skenario arus charge kecil dan arus discharge besar

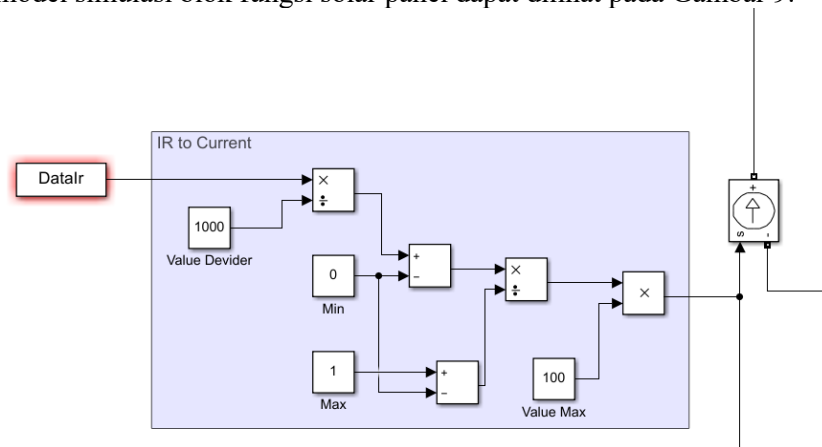
### Skenario pengujian arus charge kecil dan arus discharge kecil

Pengujian dengan skenario arus *charge* kecil dan arus *discharge* kecil dilakukan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon *cell* baterai ketika diatur untuk *charge* (pengisian) kecil dan *discharge* (pengosongan) juga kecil. Arus yang digunakan untuk proses pengisian dilakukan pada arus 3 Ampere, dan arus yang digunakan oleh beban ketika pengosongan baterai terjadi pada 4.2 Ampere. Hal ini menunjukkan respon baterai ketika *cell* baterai yang tidak terlalu sering digunakan sehingga nilai *battery cycle* tidak terlalu besar (hanya 10 *cycle*) selama simulasi 10 hari (waktu simulasi) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8.

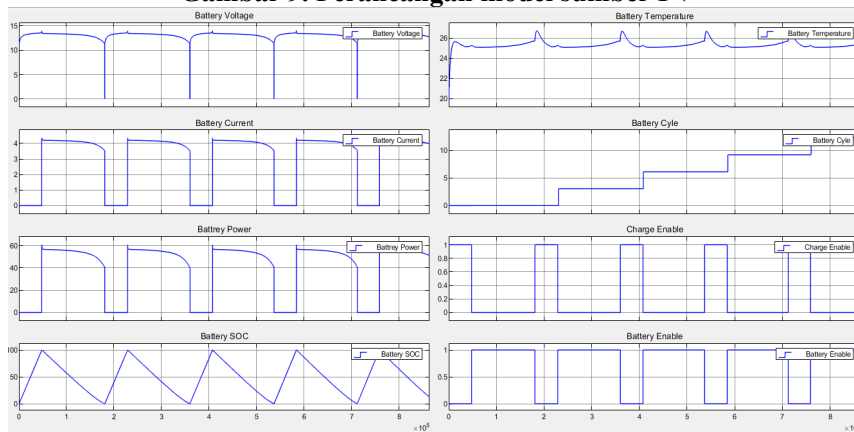
### Perancangan Model Simulasi Blok Fungsi Solar Panel

Perancangan model simulasi blok fungsi solar panel sebagai sumber daya dilakukan. Perancangan blok fungsi ini bertujuan untuk mengubah data *Irradiance* yang merupakan nilai kecerahan matahari (dalam satuan W/m<sup>2</sup>) menjadi nilai arus yang digunakan pada blok fungsi sumber arus. Pada penelitian ini, solar panel sebagai sumber daya listrik dianalogikan sebagai sumber arus dengan nilai minimum 0 Ampere hingga 100 Ampere dengan *mapping* nilai *Irradiance* dari 0 W/m<sup>2</sup> hingga 1000 W/m<sup>2</sup>. Perancangan model simulasi dengan versi ringkas (simplified

version) ini bertujuan untuk memudahkan kalkulasi matlab ketika simulasi dijalankan. Hasil perancangan model simulasi blok fungsi solar panel dapat dilihat pada Gambar 9.



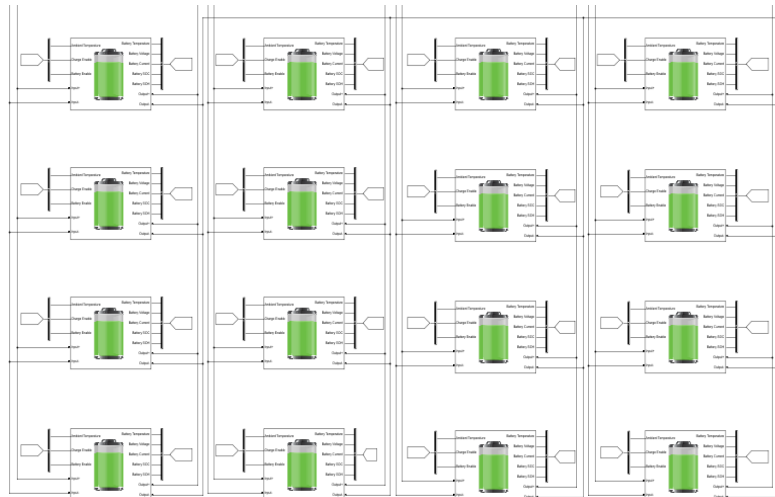
Gambar 9. Perancangan model sumber PV



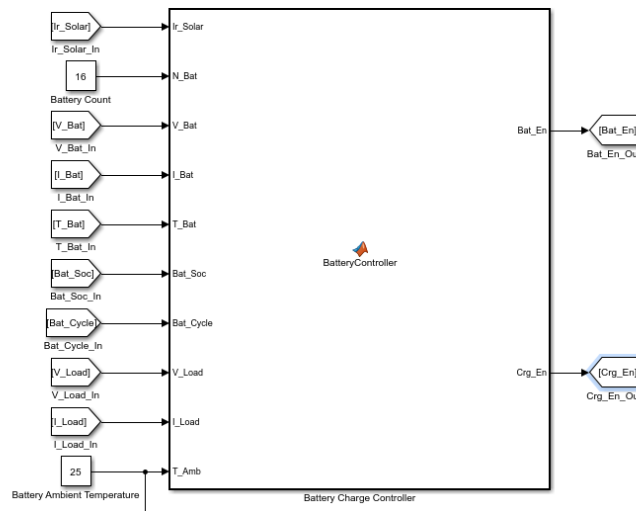
Gambar 10. Grafik pengujian skenario arus charge kecil dan arus discharge kecil

### Perancangan Model Simulasi Bank Baterai dan Charge Controller

Percancangan bank baterai dan *charge controller* dilakukan. Percangan dilakukan dengan menghubungkan 16 *cell* baterai sehingga menjadi bank baterai. Pemilihan 16 *cell* baterai dipilih sebagai batas minimum untuk dijadikan baterai bank hanya untuk keperluan analisa pada penelitian, setelah penelitian dilakukan, maka jumlah *cell* baterai dan jumlah bank baterai dapat ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan beban dan ketersediaan sumber dari solar panel. Model blok fungsi bank baterai terdiri dari *input* parameter *Bat\_XX\_In* (XX merupakan penomoran baterai) yang terdiri dari 3 signal yaitu : *Ambient Temperature*, *Charge Enable*, dan *Battery Enable*. Kemudian setiap *cell* baterai dihubungkan dengan *output* parameter yang terdiri dari 5 signal yaitu: *Battery Temperature*, *Battery Voltage*, dan *Battery Current* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10.



**Gambar 11. Perancangan model simulasi bank baterai**



**Gambar 12. Perancangan model blok fungsi charge controller**

Perancangan selanjutnya adalah model blok fungsi *charge controller* untuk bank baterai. *Charge controller* merupakan blok fungsi yang terdiri kode matlab sebagai algoritma *controller*. Output *charge controller* terdiri dari *Bat\_En* (*Battery enable*) yang merupakan sinyal untuk mengaktifkan baterai (mode *discharging*), *Crg\_En* (*Charge enable*) yang merupakan sinyal untuk mengaktifkan mode *charging* pada *cell* baterai. Sinyal *Bat\_En* dan *Crg\_En* merupakan nilai dalam bentuk *array* dimana setiap item dari *array* merupakan sinyal untuk setiap *cell* baterai. Input *charge controller* terdiri dari terminal seperti yang diurai pada Tabel 1.

**Tabel 1. Penamaan dan fungsi terminal input charge controller**

No	Nama Terminal Input	Fungsi
1	Ir Solar	Irradiance sinar matahari
2	N Bat	Jumlah <i>cell</i> baterai dalam bank baterai
3	V Bat	Tegangan setiap <i>cell</i> baterai
4	I Bat	Arus setial <i>cell</i> baterai
5	T Bat	Suhu setial <i>cell</i> baterai
6	Bat Soc	State of charge setiap <i>cell</i> baterai
7	Bat Cycle	Jumlah siklus pengisian setiap <i>cell</i> baterai
8	V Load	Tegangan beban
9	I Load	Arus beban
10	T Amb	Suhu ruang (statik pada 25 °Celcius)



Implementasi algoritma *sorting* dilakukan pada model blok fungsi *charge controller* yang merupakan *fungsi* yang ditulis menggunakan kode bahasa Matlab. *Charge controller* berfungsi untuk mengatur mode *charge* dan *discharge* setiap *cell* baterai dengan membaca kebutuhan arus beban dengan mempertimbangkan kekuatan sinar matahari. Jika pada saat tertentu cahaya matahari besar sedangkan arus beban kecil, maka sebagian besar daya digunakan untuk *charge* setiap *cell* baterai yang memiliki SOC paling rendah ke paling tinggi dengan algoritma *sort*. *Cell* baterai yang memiliki SOC dan *charge cycle* paling rendah setelah dilakukan *sort* diprioritaskan untuk *discharge* terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir *charge cycle* yang ada pada setiap *cell* baterai sehingga distribusi *charge* dapat terbagi secara merata. *Charge controller* yang mengatur setiap *cell* baterai kapan proses *charge/discharge* terjadi. *Pseudocode* dari algoritma yang dibangun dapat diperlihatkan pada Gambar 14.

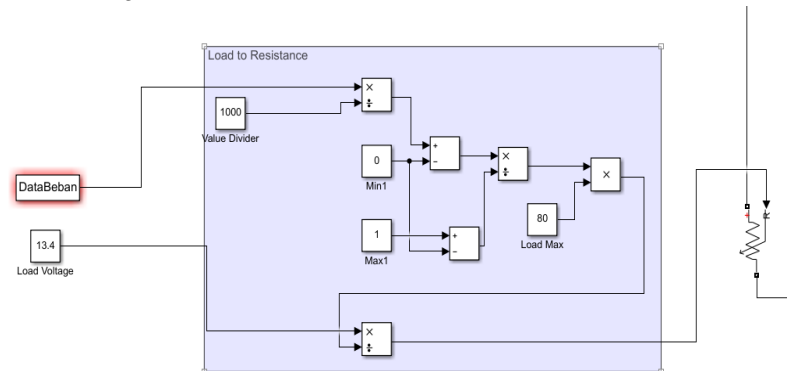
```
1  procedure AlgoritmaManajemenBaterai(T,Ipv,Soc,Bc,VLoad,Iload)
2      IbatDis ← 5 Ampere
3      IbatCrg ← 5 Ampere
4      Nbat ← 16 Baterai
5      Cint ← 60 Detik (controller aktif setiap 60 detik)
6      if interval terjadi do
7          BatSocOrderedDesc ← sort(Soc,Decending)
8          NbatDis ← Iload / IbatDis
9          for i=1 to NbatDis do
10             CrgEn(i) ← BatSocOrderedDesc(i) ← Aktif, selebihnya itu Nonaktif
11          end for
12          BatSocOrderedAsc ← sort(Soc,Acending)
13          NbatCrg ← Ipv / IbatCrg
14          for i=1 to NbatCrg do
15             BatEn(i) ← BatSocOrderedAsc (i) ← Aktif, selebihnya Nonaktif
16          end for
17      end if
18      for j=1 to Nbat do
19          if Soc(j) ≤ 10 do
20             BatEn(j) ← Nonaktif
21          end if
22      end for
23      for k=1 to Nbat do
24          if Soc(k) ≥ 90 do
25             CrgEn(k) ← Nonaktif
26          end if
27      end for
28
```

Gambar 14. *Pseudocode* algoritma manajemen baterai

Algoritma yang dibangun pada penelitian ini bekerja dengan mengurutkan SOC (*state of charge*) semua baterai sehingga baterai dengan SOC paling tinggi yang akan digunakan. Jumlah baterai yang digunakan untuk pemakaian beban dihitung dari pembulatan nilai arus beban dibagi dengan jumlah arus yang bisa digunakan perbaterai (dalam penelitian ini, 5 Ampere yang digunakan per-baterai). Algoritma manajemen juga mengurutkan SOC baterai dari nilai SOC paling rendah sampai paling tinggi yang digunakan pada proses *charging* baterai. Jumlah baterai yang digunakan ketika *charging* dihitung dari nilai arus dari solar panel dibagi dengan jumlah arus yang bisa digunakan ketika proses *charging* (dalam penelitian ini, 5 Ampere digunakan). Manajemen terjadi ketika jumlah arus dari solar panel besar, maka algoritma akan bekerja adaptif untuk mengaktifkan berapa baterai yang digunakan untuk pengisian. Manajemen juga terjadi ketika pemakaian baterai yaitu algoritma bekerja adaptif terhadap pemakaian beban sehingga dapat mengatur berapa banyak baterai yang digunakan oleh beban.

### Perancangan Model Simulasi *Variable Load*

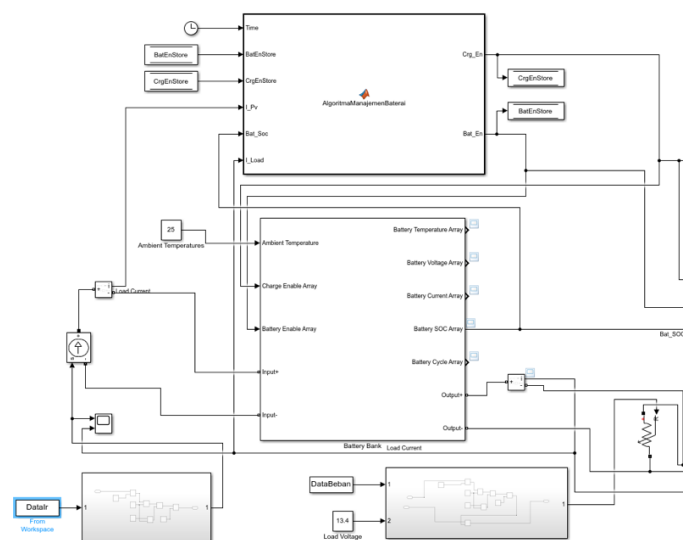
Perancangan model simulasi untuk *variable load* dilakukan. Perancangan *load* terdiri Resistor sebagai resistansi beban, dan *current source* dengan terminal terbalik sebagai penyerap arus. *Current source* dengan terminal terbalik digunakan supaya arus yang dibutuhkan beban bisa dikendalikan sesuai skenario simulasi. Rangkaian simulasi beban *variable* juga dihubungkan dengan data beban yang di-generate sesuai kebutuhan skenario simulasi. Resistor beban dihubungkan dengan pengukur tegangan (*voltage measurement*) dan pengukur arus (*current measurement*). Arus maksimum yang bisa digunakan untuk beban ditetapkan 80 Ampere (arus aman ketika kapasitas sumber solar panel sebesar 100 Ampere). Hasil perancangan beban *variable* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Perancangan model simulasi *variable load*

### Perancangan, Pengujian dan Analisa Manajemen Baterai

Perancangan, pengujian dan analisa algoritma manajemen baterai dilakukan. Implementasi algoritma *sorting* diterapkan pada *charge controller* yang berfungsi untuk mengatur *charge/discharge* setiap *cell* baterai. Algoritma *sorting* beserta flow cara kerja *charge/discharge* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.14. Setiap baterai dengan status SOC dan *charge cycle* yang rendah disusun untuk diprioritaskan pengisian ketika intensitas cahaya tinggi dan beban rendah sehingga sebagian besar daya digunakan sebagai pengisi daya bank baterai.



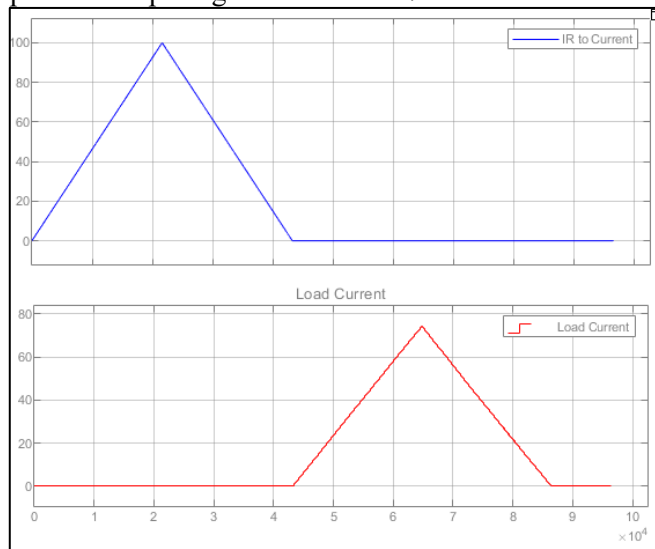
Gambar 16. Perancangan simulasi bank baterai dengan *charge controller*

Pengujian dilakukan dengan beberapa skenario seperti yang sebutkan pada butir dibawah ini :

1. Skenario intensitas cahaya tinggi dan beban tinggi
2. Skenario intensitas cahaya tinggi dan beban rendah
3. Skenario intensitas cahaya rendah dan beban tinggi

4. Skenario intensitas cahaya rendah dan beban rendah

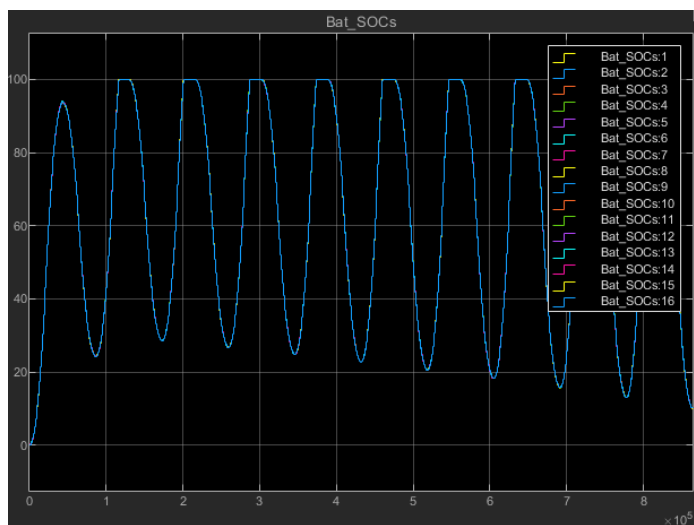
Pengujian berbagai skenario seperti yang disebutkan pada butir diatas bertujuan untuk melihat respon bank baterai dan *charge controller* sehingga bisa dilihat optimasi dari algoritma sort dalam mengatur kapan baterai masuk dalam mode *charge* dan *discharge*. Simulasi dijalankan menggunakan data kecerahan matahari dimulai dari 0 pada jam 06:00, mencapai puncak pada jam 12:00, dan turun menuju 0 kembali pada jam 18:00, sedangkan untuk data simulasi pemakaian beban dimulai dari 0 dari jam 06:00 hingga jam 18:00, mencapai puncak pada jam 12:00, dan kembali ke 0 pada jam 06:00. Data tersebut di-generate hingga 10 hari (mengikuti jumlah hari simulasi) seperti yang diperlihatkan pada grafik Gambar 17.



Gambar 17. Data *Irradiance* dan data beban dalam 1 (datu) hari

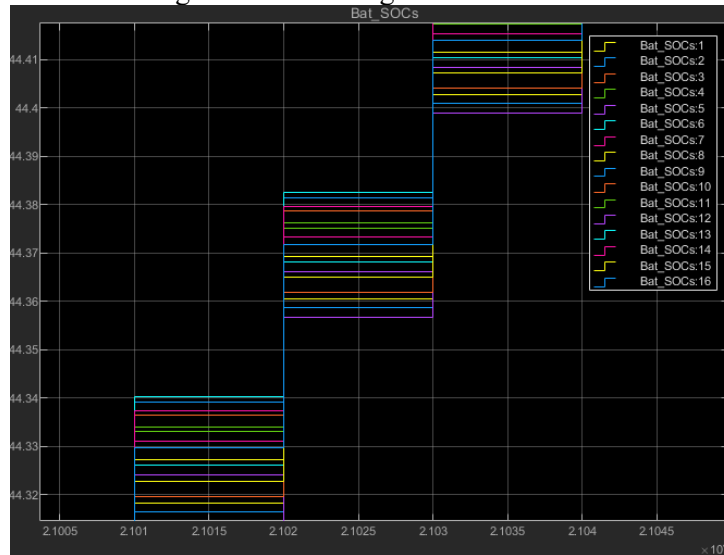
**Pegujian Intensitas Cahaya Tinggi Dan Beban Tinggi (Skenario 1)**

Skenario 1 dilakukan dengan membuat data *Irradiance* tinggi untuk mensimulasikan sinar matahari yang tinggi. Data intensitas cahaya matahari diskenariokan dengan data *Irradiance* dengan intensitas rendah pada pagi hari, mencapai puncak ( $1000 \text{ W/m}^2$  atau arus maksimum 100 Ampere) pada pertengahan hari, dan kembali rendah pada sore hari. Setelah menjelang matahari yaitu ketika pemakaian beban dimulai dengan pemakaian beban tinggi (arus maksimum 80 Ampere) maka analisispun dilakukan. Simulasi dengan skenario 1 dilakukan secara terus menerus sehingga didapat nilai *charge cycle* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 18.



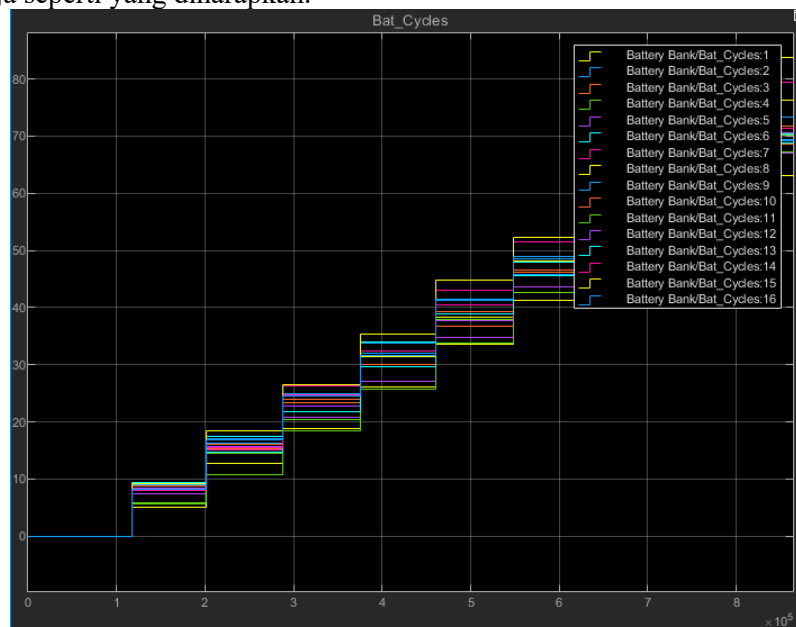
Gambar 18. Hasil SOC semua baterai pada pengujian skenario 1

Gambar 18 menunjukkan grafik SOC semua baterai (Bat\_SOCs:1 hingga Bat\_SOCs:16). Pada awal simulasi dapat dilihat bahwa baterai dalam 0 % dan terus naik hingga 95 % dengan bertambahnya arus dari solar panel akibat bertambahnya nilai *Irradiance* dari data simulasi. Ketika melewati jam 18:00, baterai digunakan dalam mode *discharging* hingga mendekati nilai 20 % yang menandakan bahwa energi baterai telah digunakan sebesar 65%.



**Gambar 19. Grafik SOC semua baterai pada pengujian skenario 1 (grafik hasil zoom)**

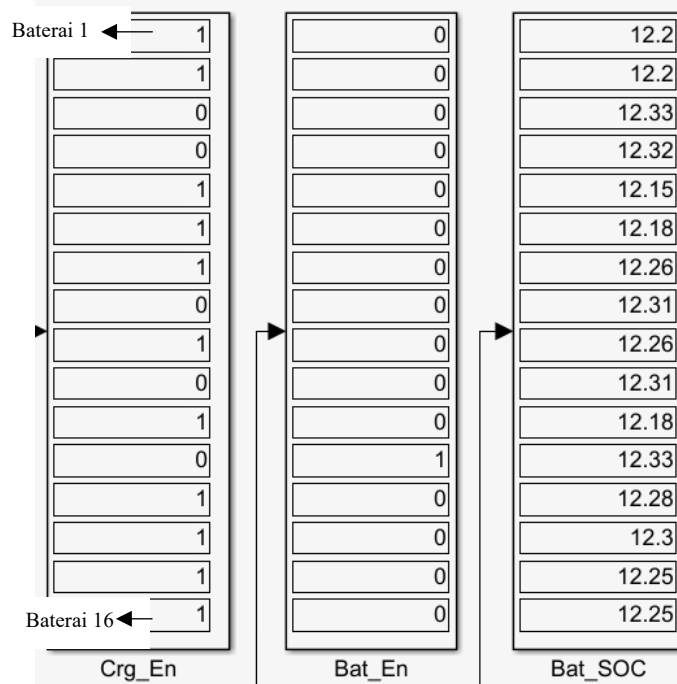
Manajemen baterai terjadi ketika ketersediaan arus dari sumber solar panel bekerja secara adaptif yaitu baterai yang di-charge hanya sejumlah baterai yang dihitung berdasarkan algoritma. Gambar 19 menunjukkan bahwa SOC setiap baterai dapat berbeda sesuai dengan urutan SOC yang dikalkulasikan oleh algoritma sehingga nilai *cycle* baterai juga tidak berubah secara keseluruhan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.18. Hasil ini menunjukkan bahwa *charge controller* bekerja seperti yang diharapkan.



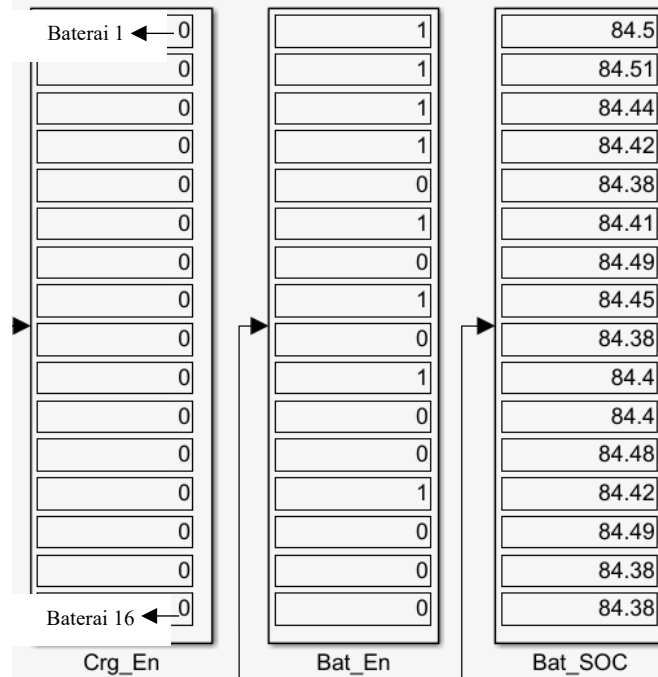
**Gambar 20. Grafik nilai cycle semua baterai pada pengujian skenario 1**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa charging terjadi cepat dan proses *discharging* juga terjadi secara cepat. Simulasi dijalankan dengan waktu 1 Hari (86400 detik). Dari hasil pengujian menunjukkan *battery cycle* mencapai 80 cycle dalam waktu 10 hari. Manajemen baterai terjadi ketika setiap baterai di-*sorting* berdasarkan SOC dari rendah ke tinggi (*ascending*) ketika dalam *mode charging*. Baterai dengan SOC paling tinggi diprioritaskan *cell* baterai yang mana yang

akan digunakan dengan jumlah dihitung dari ketersediaan sumber arus dari solar panel. Manajemen baterai juga terjadi ketika semua baterai di-*sorting* berdasarkan SOC dari besar ke kecil (*descending*) ketika dalam mode *discharging*.



Gambar 21. Status Crg\_En, Bat\_En, dan Bat\_SOC semua baterai ketika mode *charging*



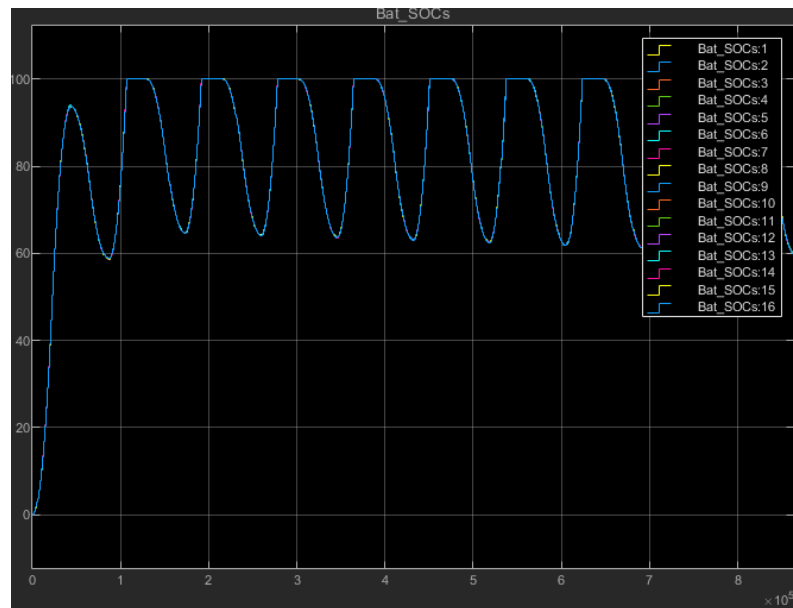
Gambar 21. Status Crg\_En, Bat\_En, dan Bat\_SOC semua baterai ketika mode *discharging*

Pada Gambar 20 dapat dilihat bahwa setiap baterai yang akan di-*charging* setelah proses *sorting* dilakukan. Pada Gambar 20 juga dapat dilihat bahwa jumlah baterai yang di-charge sejumlah 11 *baterai* sedangkan 5 baterai lainnya tidak di-charge. Jumlah 11 baterai didapat dari hasil perhitungan arus sebesar 53 Ampere (pada saat simulasi dijeda) sehingga jumlah baterai 11 *cell* karena hasil pembulatan 53 Ampere dibagi 5 Ampere. Pada Gambar 21 dapat dilihat status Charge Enable (Crg\_En), Battery Enable (Bat\_En), dan Battery State of charge (Bat\_SOC) pada

setiap baterai setelah proses *sorting* berdasarkan SOC secara *descending* pada saat proses *discharging*. Dari hasil gambar dapat dilihat bahwa jumlah *cell* baterai yang diaktifkan untuk proses *discharging* yaitu sebanyak 8 *cell* baterai. Hal ini dikarenakan jumlah arus beban sebesar 36 Ampere sehingga hasil pembulatan  $36 \div 5 = 7.2$  dan dibulatkan menjadi 8. *Cell* baterai dengan SOC paling besar hingga paling kecil diprioritaskan untuk digunakan saat proses *discharging* berlangsung.

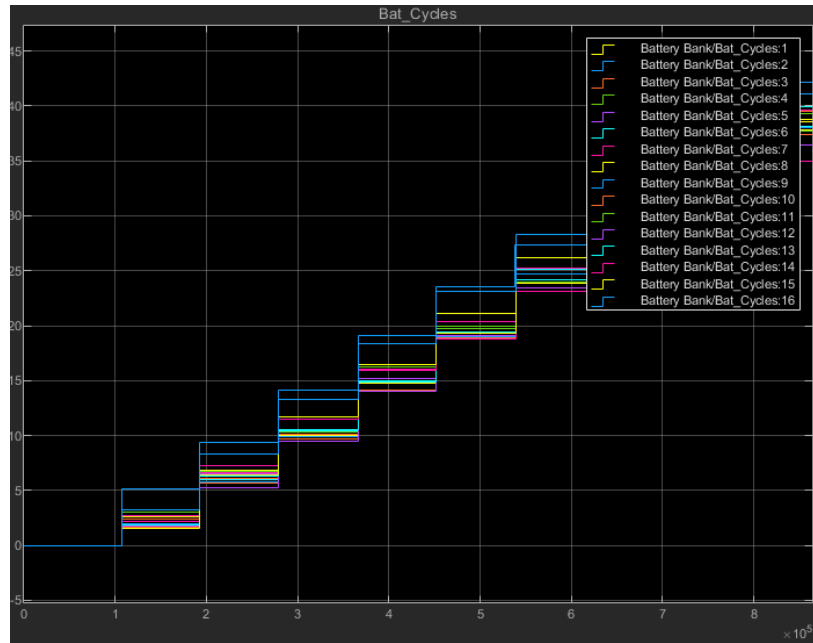
### ***Pegujian Itensitas Cahaya Tinggi Dan Beban Rendah (Skenario 2)***

Skenario 2 dilakukan dengan membuat data *Irradiance* matahari menjadi tinggi ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) yang menjadi input pada blok fungsi solar panel dan data pemakaian beban yang rendah (40 Ampere), dengan demikian maka sebagian besar daya yang ditangkap oleh panel surya dari matahari bisa digunakan untuk melakukan *charging* semua *cell* baterai secara keseluruhan setelah SOC dan *charge cycle* disusun dengan algoritma *sorting* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 22.



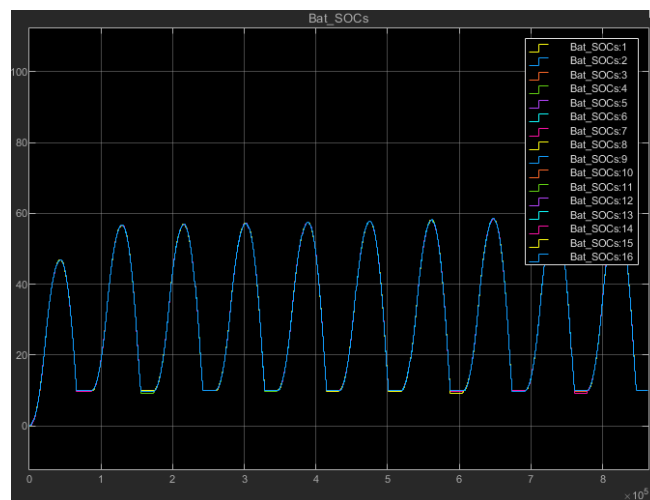
**Gambar 22. Hasil pengujian skenario 2**

Hasil pengujian skenario 2 menunjukkan bahwa proses *charging* terjadi secara cepat sedangkan proses *discharging* terjadi secara lambat (dapat dilihat penurunan SOC semua baterai tidak melebihi 60 %). Hasil *battery cycle* menunjukkan nilai 40 *cycle* dengan waktu simulasi selama 10 hari dapat dilihat pada Gambar 23.



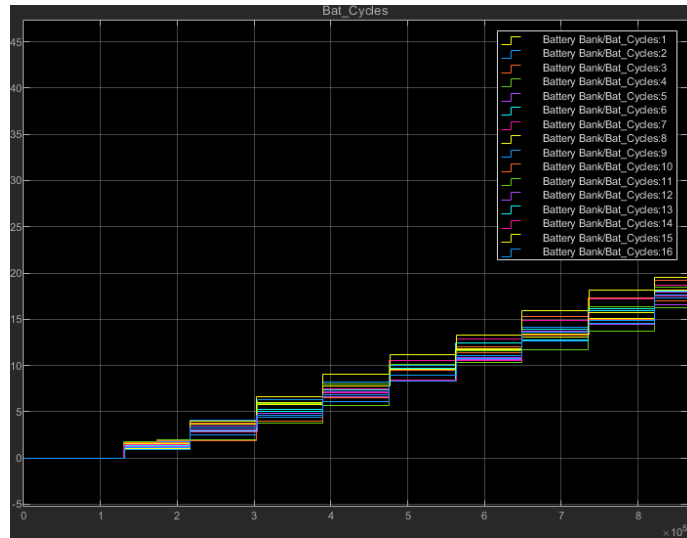
**Gambar 23. Grafik nilai cycle semua baterai pada pengujian skenario 2 Pegujian Intensitas Cahaya Rendah Dan Beban Tinggi (Skenario 3)**

Skenario 3 dilakukan dengan membuat data Irradiance rendah untuk mensimulasikan sinar matahari yang rendah (maksimum  $500 \text{ W/m}^2$ ). Data intensitas cahaya matahari diskenariokan dengan data *Irradiance* dengan intensitas rendah pada pagi hari, mencapai puncak pada pertengahan hari, dan kembali rendah pada sore hari. Setelah menjelang matahari yaitu ketika pemakaian beban dimulai dengan pemakaian beban tinggi (80 Ampere) maka analisa pun dilakukan. Simulasi dengan skenario 3 dilakukan secara terus menerus sehingga didapat nilai *charge cycle*.



**Gambar 24. Hasil Pengujian Skenario 3**

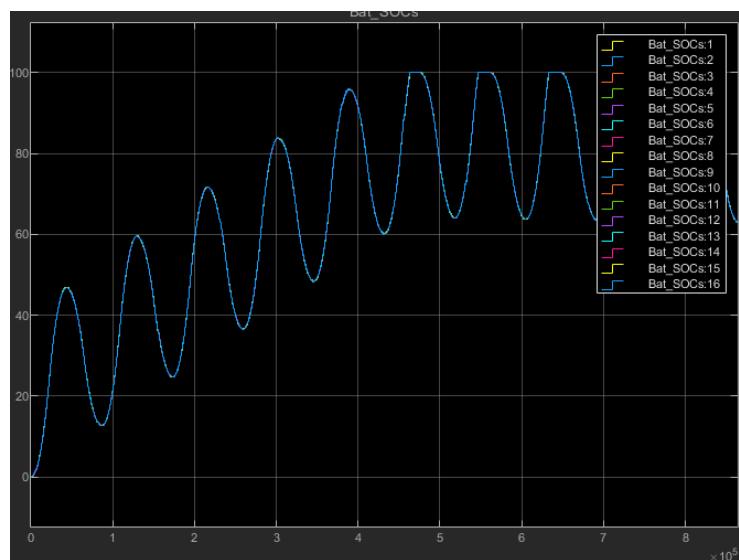
Hasil pengujian skenario 3 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 24 menunjukkan bahwa kemampuan sumber solar panel tidak mencukupi untuk digunakan oleh beban yang ditandai dengan baterai di-charge hingga rentang 50 % dan habis digunakan bahkan sebelum matahari terbit karena pemakaian beban tinggi. Hasil *charge cycle* dapat dilihat pada Gambar 25 menunjukkan nilai *charge cycle* pada nilai 20 cycle.



Gambar 24. Grafik nilai *cycle* semua baterai pada pengujian skenario 3

**Pegujian Itensitas Cahaya Rendah Dan Beban Rendah (Skenario 4)**

Skenario 4 dilakukan dengan membuat data *Irradiance* rendah untuk mensimulasikan sinar matahari yang rendah (maksimum 500 W/m<sup>2</sup>). Data itensitas cahaya matahari diskenariokan dengan data *Irradiance* dengan itensitas rendah pada pagi hari, mencapai puncak pada pertengahan hari, dan kembali rendah pada sore hari. Setelah menjelang matahari yaitu ketika pemakaian beban dimulai dengan pemakaian beban rendah (maksimum 40 Ampere) maka analisispun dilakukan. Simulasi dengan skenario 4 dilakukan secara terus menerus sehingga didapat nilai *charge cycle* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.24. Proses *charging* dan *discharging* terjadi secara lambat dikarenakan itensitas cahaya matahari yang rendah dan data beban yang rendah.

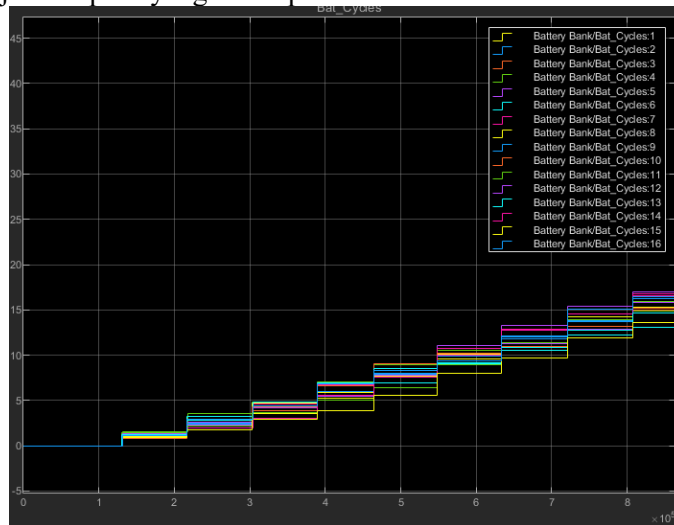


Gambar 25. Hasil Pengujian Skenario 4

Hasil pengujian skenario 4 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 26 menunjukkan bahwa pada awal simulasi jumlah energi matahari tidak cukup untuk men-charge baterai namun seiring berjalannya waktu nilai SOC meningkat menuju hingga 100 % dikarenakan energi yang tersimpan tidak semua digunakan karena pemakaiin beban rendah. Hasil pengujian juga menunjukkan nilai *cycle* semua baterai seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.24 pada nilai



15 cycle, namun tidak semua nilai cycle sama untuk setiap baterai yang menandakan bahwa manajemen baterai berjalan seperti yang diharapkan.



Gambar 26. Grafik nilai cycle semua baterai pada pengujian skenario 4

### Kesimpulan

Hasil manajemen *charging* dan *discharging* baterai menggunakan algoritma *sorting* dengan menyusun setiap *cell* baterai berdasarkan SOC (*state of charge*), rendah ke tinggi (*charging*) dan tinggi ke rendah (*discharging*) menunjukkan peningkatan performa baterai dikarenakan setiap *cell* baterai tidak diisi dan dikosongkan secara bersamaan sehingga meningkatkan performa baterai secara keseluruhan. Hasil penelitian penunjukkan semakin cepat proses *charging* terjadi maka semakin cepatnya peningkatan nilai *charge cycle* pada *cell* baterai sehingga memperpendek umur baterai yang ditandai dengan semakin cepat proses *charging* dan proses *dicharging* ketika siklus *charging* mencapai 100 cycle atau lebih, dengan adanya proses manajemen proses *charge* dan *discharge* pada setiap *cell* baterai menunjukkan bahwa proses peningkatan *charge cycle* dapat minimalisir dengan menyusun baterai berdasarkan SOC pada setiap baterai sehingga baterai yang sudah mencapai SOC yang tinggi tidak dilakukan proses *charge* dengan frekuensi *charge* yang tinggi. Hasil pengujian dengan skenario *irradiance* besar dan beban besar menunjukkan nilai *battery cycle* sebesar 80 cycle (dengan waktu simulasi 10 hari), skenario pengujian *irradiance* besar dan beban kecil menunjukkan nilai 40 cycle, skenario *irradiance* kecil beban besar menunjukkan nilai cycle sebesar 20 cycle, dan skenario pengujian *irradiance* kecil dan beban kecil pada nilai 15 cycle. Semua baterai memiliki SOC dan cycle yang berbeda. Hasil manajemen menunjukkan bahwa cycle baterai dapat dikurangi secara keseluruhan dengan melakukan manajemen proses *charging/discharging* di setiap *cell* baterai.

### BIBLIOGRAFI

- Abbas, M. D., Ashari, R., & Sari, N. S. I. (2023). *Studi Perencanaan PLTS Hybrid Dengan Penambahan Sistem Automatic Transfer Switch Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang*. Politeknik Negeri ujung Pandang.
- Amanor-Boadu, J., Sanchez-Sinencio, E., & Asmah, M. W. (2017). A universal fast battery charging and management solution for stand-alone solar photovoltaic home systems in Sub-Saharan Africa. *2017 IEEE PES PowerAfrica*, 174–179. <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica.2017.7991219>
- Azis, S. (2022). *Multiple Storage Device Pada Rangkaian Penyeimbang Baterai Untuk Aplikasi PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Off Grid*.
- Bartlett, A., Marcicki, J., Onori, S., Rizzoni, G., Yang, X. G., & Miller, T. (2015).

- Electrochemical model-based state of charge and capacity estimation for a composite electrode lithium-ion battery. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 24(2), 384–399.
- Chan, Y.-K. C. Y.-K., & Gu, J.-C. G. J.-C. (2010). Modeling and control of stand-alone photovoltaic generation system. *Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference On*. <https://doi.org/10.1109/POWERCON.2010.5666629>
- Chen, Z., Fu, Y., & Mi, C. C. (2012). State of charge estimation of lithium-ion batteries in electric drive vehicles using extended Kalman filtering. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 62(3), 1020–1030.
- Eom, T.-H., Shin, M.-H., Kim, J.-M., Lee, J., & Won, C.-Y. (2017). Improved charge control algorithm considering temperature of li-ion battery. *2017 IEEE 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia (IFEEC 2017-ECCE Asia)*, 1971–1975.
- Ghaniyyu, F. F., & Husnita, N. (2021). Upaya Pengendalian Perubahan Iklim Melalui Pembatasan Kendaraan Berbahan Bakar Minyak di Indonesia Berdasarkan Paris Agreement. *Morality: Jurnal Ilmu Hukum*, 7(1), 110–129.
- Gholizadeh, M., & Salmasi, F. R. (2013). Estimation of state of charge, unknown nonlinearities, and state of health of a lithium-ion battery based on a comprehensive unobservable model. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(3), 1335–1344.
- Husnayain, F., & Luthfy, D. (2020). Analisis rancang bangun PLTS ON-Grid hibrid baterai dengan PVSYST pada kantin teknik FTUI. *Electrices*, 2(1), 21–29.
- Kumar, N., Hussain, I., Singh, B., & Panigrahi, B. K. (2017). Single sensor-based MPPT of partially shaded PV system for battery charging by using cauchy and gaussian sine cosine optimization. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 32(3), 983–992.
- Muslim, S., Khotimah, K., & Azhiimah, A. N. (2020). analisis kritis terhadap perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) tipe photovoltaic (PV) sebagai energi alternatif masa depan. *Rang Teknik Journal*, 3(1), 119–130.
- Silitonga, A. S., & Ibrahim, H. (2020). *Buku ajar energi baru dan terbarukan*. Deepublish.
- Zou, C., Kallapur, A. G., Manzie, C., & Nesic, D. (2015). PDE battery model simplification for SOC and SOH estimator design. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control, 54rd IEEE*, 1328–1333. <https://doi.org/10.1109/CDC.2015.7402395>
- Zou, Y., Hu, X., Ma, H., & Li, S. E. (2015). Combined state of charge and state of health estimation over lithium-ion battery cell cycle lifespan for electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 273, 793–803.

---

**Copyright holder:**

Edi Maulana, Yuwaldi Away, Ira Devi Sara (2024)

**First publication right:**

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

**This article is licensed under:**

