

## DESAIN DAN SIMULASI SISTEM PLTS DENGAN PENYIMPANAN BATERAI MENGGUNAKAN *BIDIRECTIONAL DC-DC CONVERTER* DENGAN METODE *PROPORTIONAL-INTEGRAL* DI SMA NEGERI 4 SEMARANG MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK

Ahmad Shafly Zulkarnaen<sup>\*)</sup>, Bambang Winardi dan Budi Setiyono

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia  
Jl. Prof. Sudharto, SH., Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [ahmadshaflyz@gmail.com](mailto:ahmadshaflyz@gmail.com)

### Abstrak

Konsumsi energi global semakin tinggi, sehingga dibutuhkan sumber energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan. Energi terbarukan yang berkelanjutan dan tak habis-habis seperti sinar matahari, angin atau pasang surut air laut menarik untuk diteliti. Salah satu bagian penting dari sistem energi terbarukan adalah penyimpanan. Elemen penyimpanan mengumpulkan fluktuasi energi dan mampu meningkatkan sifat dinamis sistem. Dibutuhkan rangkaian konverter yang dapat mengatur arah aliran daya guna mengisi dan menggunakan energi dari elemen penyimpanan. Dalam Tugas Akhir ini telah dirancang Bidirectional DC-DC Converter metode kontrol Proportional-Integral. Pengujian dilakukan dengan variasi iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 22°C, iradiasi 150 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 23°C, iradiasi 300 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 25°C, iradiasi 750 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 27°C, dan iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 29°C menggunakan tegangan keluaran dari panel surya sebagai tegangan masukan baterai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontrol Proportional-Integral dapat bekerja dengan baik sebagai pengendali arah aliran daya. Ketika nilai daya yang dihasilkan sumber kurang dari besar daya yang dibutuhkan beban, maka terjadi discharging elemen penyimpanan. Ketika nilai daya yang dihasilkan sumber lebih besar dari yang dibutuhkan beban, maka terjadi charging elemen penyimpanan.

**Kata kunci :** *Bidirectional DC-DC Converter, Charging, Discharging, Proportional integral.*

### Abstract

*Global energy consumption is getting higher, environmentally friendly renewable energy sources are needed. Sustainable renewable energy are interesting to research. One important part of the renewable energy system is storage. The storage element collects fluctuation energy and capable of enhancing the dynamic properties of the system. A converter circuit is needed that can help the direction of power flow to fill and use energy from storage. We have designed a bidirectional DC-DC converter with a Proportional-Integral control method. Tests were carried out with variations of irradiation 0 W / m<sup>2</sup> with a temperature of 22 °C, 150 W / m<sup>2</sup> and 23 °C, 300 W / m<sup>2</sup> and 25 °C, 750 W / m<sup>2</sup> and 27 °C, and 1000 W / m<sup>2</sup> and 29 °C using the output voltage from the solar panel voltage as battery input. The test results show that the Proportional-Integral control can work well as controlling the direction of power flow. When the value of the power produced by the source is less than the power required by the load, the storage element is released. When the value of the power generated by the source is greater than the required load, the storage element is filled.*

**Keywords :** *Bidirectional DC-DC Converter, Charging, Discharging, Proportional integral.*

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan manusia akan sumber energi semakin meningkat, menyebabkan bahan bakar fosil sebagai mayoritas sumber energi bagi manusia kian menipis. Pertumbuhan ekonomi dan peningkatan standar hidup masyarakat secara langsung maupun tidak langsung memiliki keterkaitan dengan meningkatnya penggunaan energi[1]. Konsumsi jumlah energi global yang semakin tinggi, membutuhkan sumber energi terbarukan. Energi terbarukan yang berkelanjutan dan tak habis-habis seperti sinar matahari, angin, atau pasang surut air laut menarik

untuk diteliti[2]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan yang dapat menjadi salah satu alternatif atau pengganti sumber energi yang tidak terbarukan. Salah satu bagian penting dari sistem energi terbarukan adalah penyimpanan. Elemen penyimpanan mengumpulkan fluktuasi energi dan memungkinkan untuk meningkatkan sifat dinamis sistem. Sebuah baterai kimia atau super kapasitor digunakan sebagai elemen penyimpanan. Dibutuhkan rangkaian konverter yang dapat mengatur arah aliran daya yang mengalir untuk mengisi dan menggunakan baterai. Maka

digunakan rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* yang dapat mengalirkan daya untuk keperluan mengisi atau menggunakan baterai. Sebuah baterai dengan *Bidirectional DC-DC Converter* yang dihubungkan ke DC Bus dapat mengendalikan arah arus *charge/discharge* baterai secara efektif dan menjaga stabilitas tegangan DC Bus[3]. Pemicuan *Bidirectional DC-DC Converter* menggunakan *Pulse Width Modulation (PWM)* untuk menghasilkan sinyal referensi yang presisi[4].

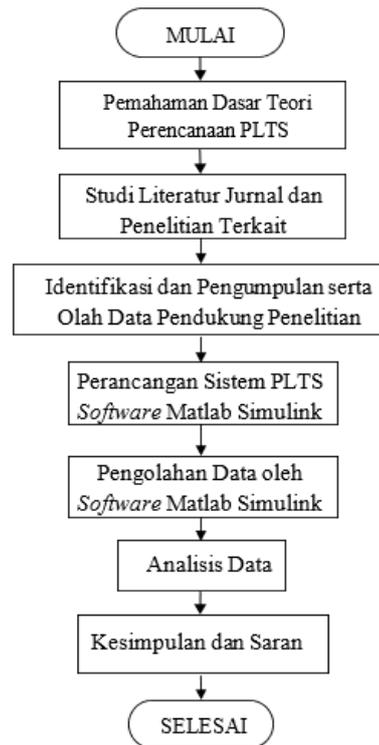
SMA Negeri 4 Semarang merupakan salah satu SMA dengan siswa dan pegawai yang banyak. SMA Negeri 4 Semarang juga memberikan beberapa fasilitas sebagai penunjang kinerja siswa, guru serta staff. Fasilitas yang ada meliputi laboratorium, kantin, peribadatan, ruang kelas, perpustakaan, ruang kesenian, ruang komite sekolah, ruang OSIS, kamar mandi, dan ruang UKS. Semua fasilitas tersebut memiliki benda-benda yang membutuhkan energi listrik seperti komputer, kipas angin, lampu, dan lain sebagainya. Lalu jika listrik padam, maka segala kegiatan akan terhambat dikarenakan segala urusan kegiatan belajar mengajar akan mengalami gangguan. Salah satu cara agar kegiatan belajar mengajar tetap berlangsung normal yaitu dengan memasang PLTS sebagai tenaga listrik cadangannya.

SMA Negeri 4 Semarang dipilih karena mempunyai lahan kosong dan tidak terpakai. Hal ini akan sangat baik apabila lahan kosong tersebut dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat perencanaan PLTS dengan memanfaatkan lahan kosong pada SMA Negeri 4 Semarang sebagai lahan PLTS tersebut. Dalam Tugas Akhir ini, dirancang desain dan simulasi *Bidirectional DC-DC Converter* menggunakan aplikasi Matlab Simulink. Pengendalian arus direalisasikan dengan menggunakan metode kontrol *Proportional-Integral*. *Bidirectional DC-DC Converter* Dengan Metode Kontrol *Proportional-Integral* yang disimulasikan diharapkan dapat memiliki performa handal dan tegangan dan arus keluaran yang dapat menyesuaikan referensi[5].

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Simulasi

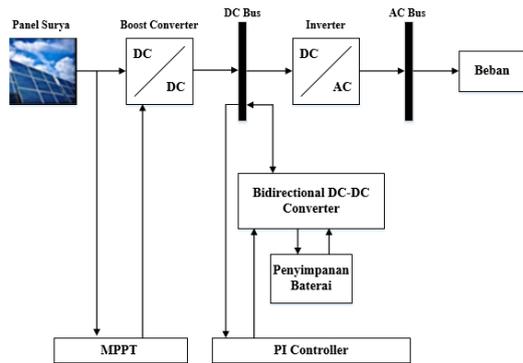
Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Desain dan Simulasi Sistem PLTS dengan Penyimpanan Baterai Menggunakan *Bidirectional DC-DC Converter* dengan Metode *Proportional-Integral* di SMA Negeri 4 Semarang Menggunakan Matlab Simulink” dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

Sistem PLTS dengan Penyimpanan Baterai menggunakan *Bidirectional DC-DC Converter* yang didesain dan disimulasikan dalam tugas akhir ini berguna menghubungkan penyimpan energi dengan microgrid dan bertujuan mengendalikan arah energi dari/menjuu perangkat penyimpanan, selain itu dapat mengendalikan tegangan DC Bus sesuai dengan tegangan referensi yang diberikan[6].

Perancangan Sistem PLTS dengan Penyimpanan Baterai menggunakan *Bidirectional DC-DC Converter* menggunakan metode *proporsional-integral*, pada tugas akhir ini terdiri dari beberapa blok utama, yaitu blok boost converter, blok rangkaian daya yang merupakan *bidirectional DC-DC converter*, blok inverter, blok MPPT, blok rangkaian control *proportional-inregral*, serta blok beban dan penyimpanan daya[7]. Diagram blok simulasi yang dirancang pada tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2 Diagram Blok Perancangan Simulasi

## 2.2. Perancangan Simulasi

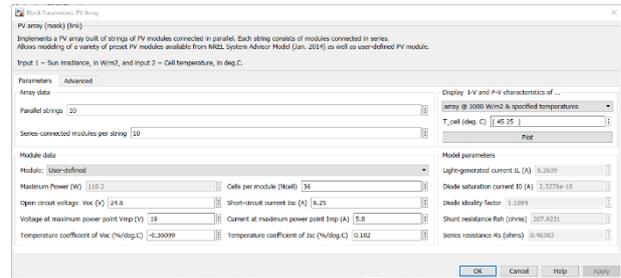
Dengan potensi pemanfaatan energi matahari dan penggunaan konsumsi energi listrik yang besar di SMA Negeri 4 Semarang, dipilih sebuah sistem yaitu PLTS *Off-Grid*, dimana sumber energi listrik yang digunakan guna mencukupi kebutuhan energi listrik SMA Negeri 4 Semarang tidak hanya dicatu oleh PLTS saja, namun juga oleh baterai. Hal ini dikarenakan catu daya yang diberikan oleh PLTS masih belum mencukupi perkiraan penggunaan beban harian di SMA Negeri 4 Semarang apabila sinar matahari dihalangi awan, sehingga dibutuhkan sumber catu daya lain yang dapat memenuhi kebutuhan beban harian tersebut[8]. PLTS ini dapat dikatakan bersistem *Off-Grid* dikarenakan saat daya PLTS kurang dari yang seharusnya untuk mensuplai beban di SMA Negeri 4 Semarang, beban akan di suplai oleh baterai. Melalui *software* Matlab Simulink perencanaan sistem, spesifikasi komponen pendukung, dan beragam parameter lainnya selama periode waktu, dapat teridentifikasi dengan baik. Setelah diperoleh hasil dari simulasi *software* Matlab Simulink, maka dilakukan analisis mengenai pengaruh nilai iradiasi dan temperatur terhadap kondisi *charging* dan *discharging* pada sistem baterai di SMA Negeri 4 Semarang[9].

Model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di SMA Negeri 4 Semarang yang akan dirancang dan disimulasi menggunakan aplikasi Matlab Simulink yang terdiri dari panel surya, baterai, dioda, IGBT, dan PWM Generator.

### 2.2.1. Spesifikasi Rangkaian Simulasi

#### A. Panel Surya

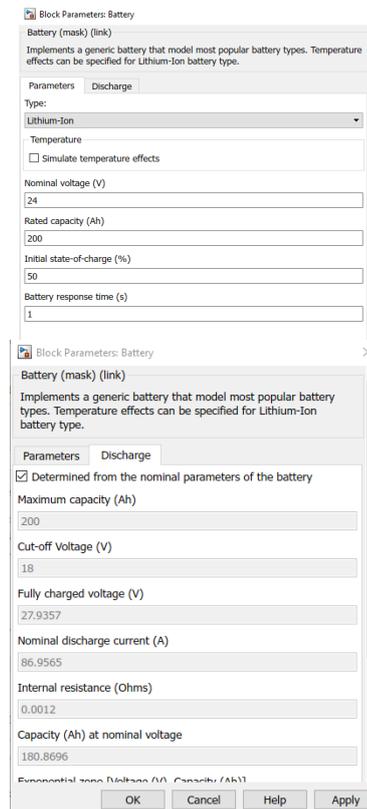
Jenis panel surya yang digunakan dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di SMAN 4 Semarang ini menggunakan panel surya dengan merk INSCOM KMM27100[10]. Dengan tipe sel Monocrystalline silicon dan spesifikasi ditunjukkan gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3 Spesifikasi Panel Surya

#### B. Baterai

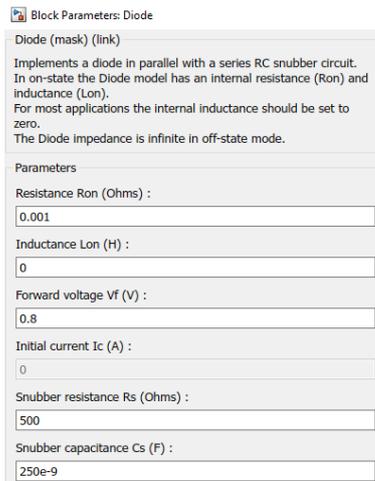
Baterai yang akan digunakan dalam perancangan system PLTS ini adalah jenis CTS Livepo4 yaitu Baterai CTS Lifepo4 200AH 24V Lithium iron seperti yang spesifikasinya ditunjukkan gambar 4. Baterai ini memiliki kapasitas 200 Ah dengan tegangan normal kerja 24 Volt.



Gambar 4 Spesifikasi Baterai

#### C. Dioda

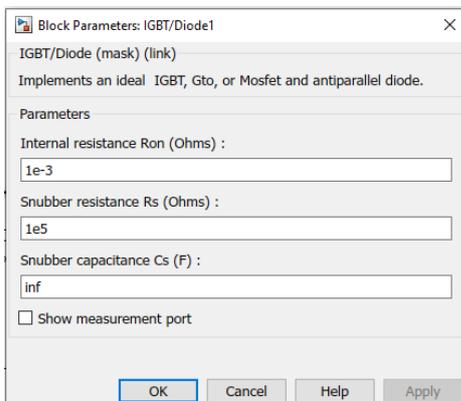
Dioda yang akan digunakan dalam simulasi sistem PLTS ini ditunjukkan pada Gambar 5 berikut. Dioda yang digunakan memiliki resistansi dalam sebesar 0.001 ohm dan induktansi dalam sebesar 0 H. Untuk beberapa pengaplikasian, induktansi dalam seharusnya memang di set 0.



Gambar 5 Spesifikasi Dioda

#### D. IGBT

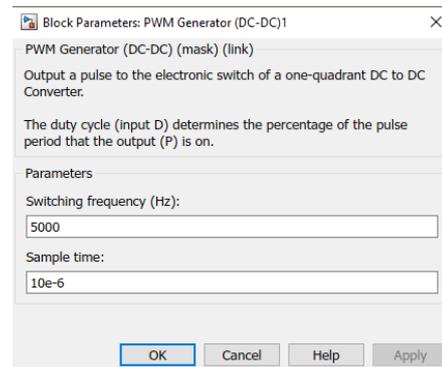
IGBT yang akan digunakan dalam simulasi sistem PLTS ini ditunjukkan pada Gambar 6 berikut. Parameter yang digunakan antara lain memiliki resistansi dalam sebesar 0,001 ohm dan memiliki nilai Rs 100 KΩ.



Gambar 6. Spesifikasi IGBT

#### E. PWM Generator

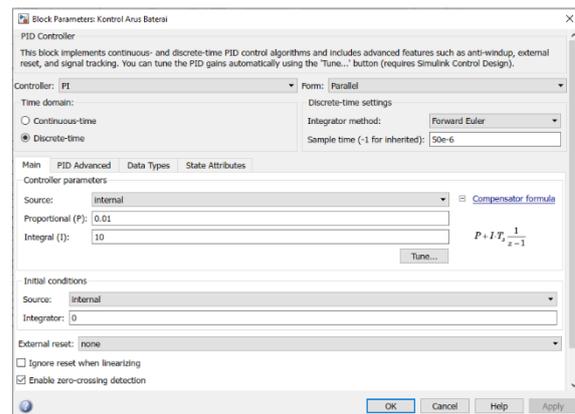
PWM Generator yang akan digunakan dalam simulasi sistem PLTS ini ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut. Parameter yang digunakan antara lain memiliki frekuensi switching sebesar 5.000 Hz dan memiliki sample time 10<sup>-6</sup> s.



Gambar 7 Spesifikasi PWM Generator

### 2.2.2. Perancangan Kontrol Arus Baterai Proportional-Integral

Sinyal kontrol *Proportional-Integral* digunakan untuk mengumpan balikkan nilai keluaran arus dari *Bidirectional DC-DC Converter* dengan mengontrol variabel *Duty Cycle* dengan suatu nominal konstanta tertentu ( $K_p$  dan  $K_i$ ). Gambar 8 menunjukkan blok parameter dari kontroler *Proportional-Integral* dari sistem.



Gambar 8. Blok Parameter dari Kontrol Arus Baterai Kontroler Proportional-Integral

Berikut adalah persamaan kontroler *Proportional-Integral* dalam bentuk transformasi Laplace:

$$G_{PI}(s) = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} \right] e(s)$$

Parameter yang dibutuhkan untuk kontroler PI adalah sebagai berikut[11]:

- $K_p$  untuk mendapatkan respon *transient* yang cepat dan kestabilan yang bagus.
- Penggunaan integrator ( $\frac{K_p}{T_i s}$ ) didalam kontroler secara praktis akan menghilangkan error steady antara Setpoint dengan output proses.

Dalam simulasi yang dilakukan pemilihan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  didapatkan dari pengujian *trial and error*. Pengujian ini dilakukan dengan cara menganalisa satu-persatu respon sistem yang paling baik dan memiliki kestabilan yang bagus. Dalam simulasi ini didapat nilai  $K_p = 0,01$  dan nilai  $K_i = 10$ .

### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1. Pengujian Duty Cycle

Pengujian rangkaian *bidirectional DC-DC converter* dengan variasi *duty cycle* dilakukan untuk mengetahui kondisi *charging* dan *discharging* pada baterai, kemudian menganalisis arus keluaran dan tegangan keluaran pada baterai[12]. Berikut merupakan gambar rangkaian pengujian *bidirectional DC-DC converter* dengan variasi *duty cycle*.

Tabel 1. Data hasil pengujian rangkaian variasi *duty cycle*

Duty Cycle (%)	SOC (%)	V Baterai (V)	I Baterai (A)	Keterangan
20	49,86	25,59	87,73	Nilai Arus bertanda positif (+) menandakan sistem pada mode <i>discharging</i>
30	49,97	25,66	65,32	
40	49,95	25,73	40,28	
50	49,99	25,82	11,55	
60	50,02	25,9	-17,83	Nilai Arus bertanda negatif (-) menandakan sistem pada mode <i>charging</i>
70	50,04	25,97	-44,41	
80	50,08	26,04	-67,95	
80	50,08	26,04	-67,95	
90	50,1	26,1	-89,63	

Nilai arus bertanda positif menunjukkan arah arus keluar dari baterai dan sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dalam keadaan *discharging*, sedangkan nilai arus bertanda negatif menunjukkan arah arus menuju ke baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dalam keadaan *charging*[13].

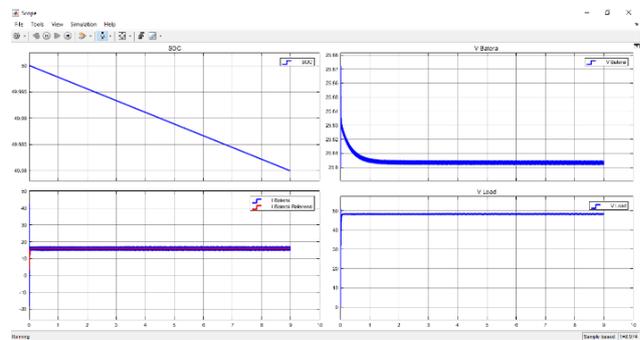
Pada saat kondisi *discharging* dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *duty cycle* maka arus baterai mengalami penurunan dan kapasitas baterai mengalami pelambatan penurunan. Sedangkan pada saat kondisi *charging* dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *duty cycle* maka arus baterai mengalami peningkatan dan kapasitas baterai mengalami kenaikan yang cepat[14]. Dari tabel juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai *duty cycle* maka tegangan baterai semakin besar[15]. Pengaruh *duty cycle* pada tegangan keluaran berbanding lurus, artinya ketika dilakukan penambahan nilai *duty cycle*, maka tegangan keluaran *Bidirectional DC-DC Converter* juga meningkat[16].

#### 3.2. Pengujian Rangkaian Bidirectional DC-DC Converter

Pengujian rangkaian daya bertujuan untuk mengetahui kinerja *Bidirectional DC-DC Converter* yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan mengamati nilai tegangan keluaran, dan arus keluaran pada baterai. Berikut merupakan gambar rangkaian pengujian *Bidirectional DC-DC Converter*[17].

##### 3.2.1 Pengujian Mode Discharging

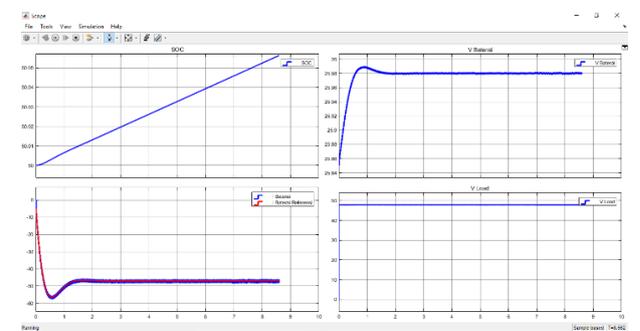
Pengujian mode *discharging* dilakukan dengan cara memberikan masukan nilai 0 pada rangkaian sistem *Bidirectional DC-DC Converter*. Berikut merupakan data hasil pengujian rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* pada mode *discharging*.



Gambar 9 Grafik pengujian kondisi *Discharging*

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa pada saat rangkaian diberi input nilai 0 maka baterai akan mengalami kondisi *discharging*. Hal ini membuktikan bahwa rangkaian sistem *Bidirectional DC-DC Converter* sudah sesuai. Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa arus yang menuju ke beban sudah sesuai dengan arus referensi yaitu sebesar 16,06 A, yang berarti kontrol *proportional-integral* sudah berjalan dengan baik.

##### 3.2.2. Pengujian Mode Charging



Gambar 10 Grafik pengujian kondisi *Charging*

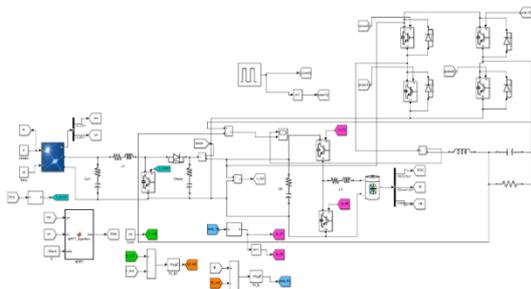
Pengujian mode *charging* dilakukan dengan cara memberikan masukan nilai 1 pada rangkaian sistem

*Bidirectional DC-DC Converter*. Berikut merupakan data hasil pengujian rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* pada mode *charging*.

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa pada saat rangkaian diberi input nilai 1 maka baterai akan mengalami kondisi *charging*. Hal ini membuktikan bahwa rangkaian sistem *Bidirectional DC-DC Converter* sudah sesuai. Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa arus yang menuju ke baterai sudah sesuai dengan arus referensi yaitu sebesar 52,88 A, yang berarti kontrol *proportional-integral* sudah berjalan dengan baik.

### 3.2.3. Pengujian Sistem PLTS dengan Penyimpanan Baterai menggunakan *Bidirectional DC-DC Converter*

Pengujian rangkaian secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui kinerja seluruh rangkaian dan program pada Sistem PLTS dengan Penyimpanan Baterai menggunakan *Bidirectional DC-DC Converter* yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan mengamati dan menganalisis nilai tegangan tegangan keluaran baterai dan arus keluaran baterai. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah daya yang dihasilkan baterai sanggup menyuplai beban di SMA Negeri 4 Semarang saat panel surya tidak menghasilkan daya yang cukup untuk menyuplai beban. Berikut merupakan gambar rangkaian pengujian Sistem PLTS dengan Penyimpanan Baterai menggunakan *Bidirectional DC-DC Converter*.



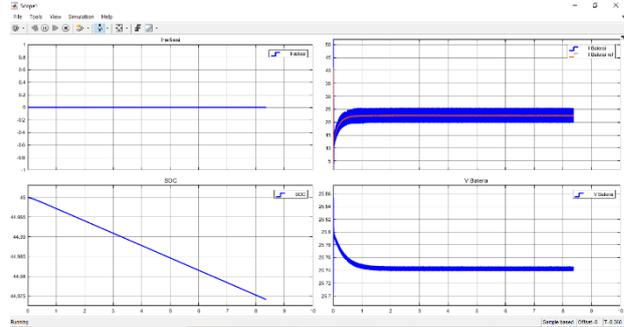
Gambar 11. Rangkaian Pengujian Sistem PLTS Dengan Penyimpanan Baterai Menggunakan *Bidirectional DC-DC Converter*

Dalam tugas akhir ini, pengujian dilakukan dengan mengambil sampel 1 SCC dengan rincian menggunakan 100 panel surya (10 seri dan 10 paralel) yang masing-masing berkapasitas 100 Watt Power, kemudian 20 buah baterai 24 Volt 200 Ah (4 seri dan 5 paralel), dan 1 buah inverter, serta menyuplai beban 7,75 KW.

#### A. Kondisi 1 (Iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> dan suhu 22°C)

Dari Gambar 12 dapat dilihat ketika iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> dan suhu 22°C nilai arus bertanda positif menunjukkan arah arus keluar dari baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dalam keadaan *discharging*. Pada saat kondisi ini beban masih disuplai

*discharging*. Pada saat kondisi ini beban sepenuhnya disuplai oleh baterai karena panel sama sekali tidak menghasilkan daya keluaran. Tegangan yang dihasilkan oleh 1 baterai sebesar 25,74 V dan arus sebesar 23,92 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol *proportional-integral* sudah berjalan dengan baik.

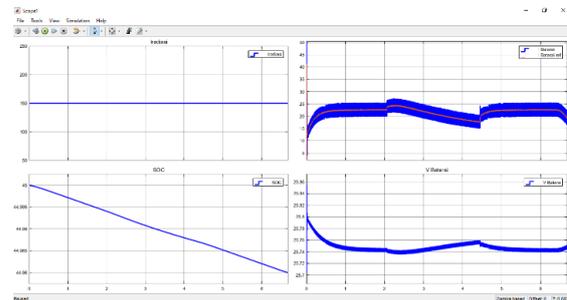


Gambar 12. Grafik pengujian kondisi 1 (Iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> dan suhu 22°C)

Dengan nilai tegangan yang dihasilkan oleh 1 baterai sebesar 25,74 V dan arus sebesar 23,92 A, maka daya yang dihasilkan oleh semua baterai sebesar 12,31 KW. Nilai daya tersebut didapatkan dari perhitungan berikut.  
 Daya baterai keseluruhan = V Baterai (4) . I Baterai (5)  
 Daya baterai keseluruhan = 25,74(4) . 23,92(5)  
 Daya baterai keseluruhan = 12.31 KW

Dalam pengujian ini dapat dilihat, ketika nilai ketika iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> dan suhu 22°C baterai mampu menghasilkan daya sebesar 12,31 KW. Hal ini membuktikan bahwa pada saat panel tidak menghasilkan cukup daya, baterai mampu menyuplai beban dalam 1 SCC di SMA Negeri 4 Semarang.

#### B. Kondisi 2 (Iradiasi 150 W/m<sup>2</sup> dan suhu 23°C)



Gambar 13. Grafik pengujian kondisi 2 (Iradiasi 150 W/m<sup>2</sup> dan suhu 23°C)

Dari Gambar 13 dapat dilihat ketika iradiasi 150 W/m<sup>2</sup> dan suhu 23°C nilai arus bertanda positif menunjukkan arah arus keluar dari baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dalam keadaan *discharging*. Pada saat kondisi ini beban masih disuplai

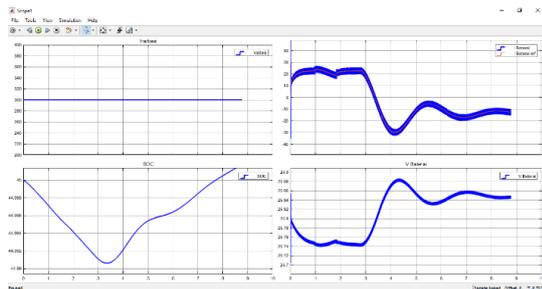
oleh baterai karena panel belum menghasilkan daya keluaran yang cukup untuk menyuplai beban. Tegangan yang dihasilkan oleh 1 baterai sebesar 25,75 V dan arus sebesar 20,99 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol *proportional-integral* sudah berjalan dengan baik.

Dengan nilai tegangan yang dihasilkan oleh 1 baterai sebesar 25,75 V dan arus sebesar 20,99 A, maka daya yang dihasilkan oleh semua baterai sebesar 10,8 KW.

Nilai daya tersebut didapatkan dari perhitungan berikut.  
 Daya baterai keseluruhan =  $V_{\text{Baterai}} (4) \cdot I_{\text{Baterai}} (5)$   
 Daya baterai keseluruhan =  $25,75(4) \cdot 20,99(5)$   
 Daya baterai keseluruhan = 10,8 KW

Dalam pengujian ini dapat dilihat, ketika nilai ketika iradiasi 150 W/m<sup>2</sup> dan suhu 23°C panel masih belum mampu menyuplai beban dan baterai mampu menghasilkan daya sebesar 10,8 KW. Hal ini membuktikan bahwa baterai mampu menyuplai beban dalam 1 SCC di SMA Negeri 4 Semarang.

**C. Kondisi 3 (Iradiasi 300 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C)**



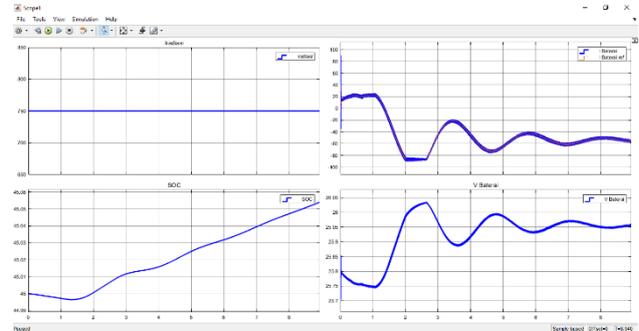
**Gambar 14. Grafik pengujian kondisi 3 (Iradiasi 300 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C)**

Dari Gambar 14 dapat dilihat ketika iradiasi 300 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C nilai arus bertanda negatif menunjukkan arah arus masuk menuju ke baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dalam keadaan *charging*. Pada saat kondisi ini beban disuplai oleh panel surya dan apabila terdapat daya berlebih maka akan dialirkan ke baterai. Tegangan yang masuk ke 1 baterai sebesar 25,85 V dan arus sebesar 13,03 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol *proportional-integral* sudah berjalan dengan baik.

**D. Kondisi 4 (Iradiasi 750 W/m<sup>2</sup> dan suhu 27°C)**

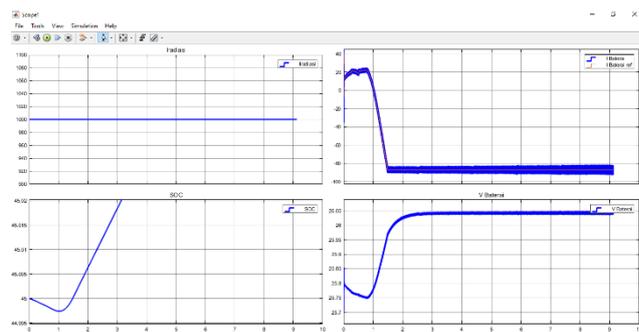
Dari Gambar 15 dapat dilihat ketika iradiasi 750 W/m<sup>2</sup> dan suhu 27°C nilai arus bertanda negatif menunjukkan arah arus masuk menuju ke baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dalam keadaan *charging*. Pada saat kondisi ini beban disuplai oleh panel surya dan apabila terdapat daya berlebih maka akan

dialirkan ke baterai. Tegangan yang masuk ke 1 baterai sebesar 25,96 V dan arus sebesar 55,21 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol *proportional-integral* sudah berjalan dengan baik.



**Gambar 15. Grafik pengujian kondisi 4 (Iradiasi 750 W/m<sup>2</sup> dan suhu 27°C)**

**E. Kondisi 5 (Iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 29°C)**



**Gambar 16. Grafik pengujian kondisi 5 (Iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 29°C)**

Dari Gambar 16 dapat dilihat ketika iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 29°C nilai arus bertanda negatif menunjukkan arah arus masuk menuju ke baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dalam keadaan *charging*. Pada saat kondisi ini beban disuplai oleh panel surya dan apabila terdapat daya berlebih maka akan dialirkan ke baterai. Tegangan yang masuk ke 1 baterai sebesar 26,04 V dan arus sebesar 84,5 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol *proportional-integral* sudah berjalan dengan baik.

**Tabel 2. Data hasil pengujian Simulasi Sistem PLTS dengan Penyimpanan Baterai menggunakan Bidirectional DC-DC Converter**

Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	V Baterai (Volt)	I Baterai (A)	I Baterai Ref (A)
0	22	25,74	23,92	22,72
150	23	25,75	20,99	18,88
300	25	25,85	-13,03	-12,88
750	27	25,96	-55,21	-56,42
1000	29	26,04	-84,5	-87

Berdasarkan tabel 2 diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai iradiasi dan suhu yang masuk ke panel surya maka tegangan baterai juga akan semakin besar. Dari tabel juga dapat dilihat bahwa ketika nilai arus bertanda positif menunjukkan arah arus keluar dari baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dalam keadaan *discharging* sedangkan ketika nilai arus bertanda negatif menunjukkan arah arus masuk menuju ke baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dalam keadaan *charging*.

Ketika nilai iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> dan suhu 22°C tegangan yang dihasilkan oleh 1 baterai sebesar 25,74 V dan arus sebesar 23,92 A, ketika nilai iradiasi 150 W/m<sup>2</sup> dan suhu 23°C tegangan yang dihasilkan oleh 1 baterai sebesar 25,75 V dan arus sebesar 20,99 A, ketika nilai iradiasi 300 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C tegangan yang masuk ke 1 baterai sebesar 25,85 V dan arus sebesar 13,03 A, ketika nilai iradiasi 750 W/m<sup>2</sup> dan suhu 27°C tegangan yang masuk ke 1 baterai sebesar 25,96 V dan arus sebesar 55,21 A dan ketika nilai iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 29°C tegangan yang masuk ke 1 baterai sebesar 26,04 V dan arus sebesar 84,5 A.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir berjudul Desain dan Simulasi Sistem PLTS dengan Penyimpanan Baterai Menggunakan *Bidirectional DC-DC Converter* dengan Metode *Proportional-Integral* di SMA Negeri 4 Semarang Menggunakan Matlab Simulink, dapat disimpulkan bahwa rangkaian Simulasi *Bidirectional DC-DC Converter* telah berhasil direalisasikan dan dapat menghasilkan tegangan dan arus baterai yang sudah sesuai. Hasil pengujian pada semua variasi iradiasi dan suhu menunjukkan bahwa kontrol *Proportional-Integral* dapat bekerja dengan baik untuk digunakan sebagai pengendali arah aliran daya pada baterai.

Hasil pengujian variasi Duty Cycle menunjukkan ketika Duty Cycle di atur pada rentang nilai 20%-50% maka baterai berada pada kondisi *discharging*, sedangkan ketika Duty Cycle di atur pada rentang nilai 60%-90% maka baterai berada pada kondisi *charging*.

Ketika nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya tidak cukup untuk menyuplai beban, maka algoritma program mengaktifkan mode *boost* pada *Bidirectional DC-DC Converter*, sehingga terjadi *discharging* baterai yang mengalirkan daya dari baterai ke beban. Sedangkan ketika nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya sudah mampu menyuplai beban dan menghasilkan daya berlebih, maka algoritma program mengaktifkan mode *buck*, sehingga kelebihan daya yang dihasilkan oleh panel surya dialirkan untuk *charging* baterai.

Pada pengujian variasi iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> dan suhu 22°C, baterai mengalami kondisi *discharging* dan mengalirkan

daya ke beban sebesar 12,31 KW. Pada pengujian variasi iradiasi 150 W/m<sup>2</sup> dan suhu 23°C, baterai mengalami kondisi *discharging* dan mengalirkan daya ke beban sebesar 10,8 KW. Sedangkan pada pengujian variasi iradiasi 300 W/m<sup>2</sup> suhu 25°C, 750 W/m<sup>2</sup> suhu 27°C dan 1000 W/m<sup>2</sup> suhu 29°C baterai mengalami kondisi *charging* karena beban sudah disuplai oleh panel sepenuhnya.

#### Referensi

- [1]. Kementerian ESDM Republik Indonesia, Rencana Strategis Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan 2015-2019. 2015.
- [2]. Earthscan, *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers - second edition*. 2008.
- [3]. NASA. Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) Higher Resolution Daily Time Series Climatology Resource for SSE-Renewable Energy.” [Online]. Tersedia: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Diakses: 08 Februari 2020].
- [4]. W. Omran, “Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems”, Ph.D thesis, University of Waterloo at Ontario, 2010.
- [5]. Duffie, John A. and William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes, 3th*, Jon Wiley & Sons Inc, New Jersey, 2006.
- [6]. D. L. Pangestuningtyas, Hermawan, dan Karnoto, “Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Radiasi Matahari Yang Diterima Oleh Panel Surya Tipe Larik Tetap,” Universitas Diponegoro, 2013.
- [7]. M. A. Ridho, B. Winardi, dan A. Nugroho, “Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro Menggunakan Software PVSyst 6.43,” Universitas Diponegoro, 2018.
- [8]. B. Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. 2018.
- [9]. ABB, *Technical Application Papers NO.10 Photovoltaic Plants*, Bergamo Italy, 2008.
- [10]. International Finance Corporation (IFC), *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants*. India, 2012.
- [11]. I. Setiawan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*. 2008.
- [12]. RETScreen International, *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook, no. 3*. Canada, 2005.
- [13]. E. P. D. Hattu, J. A. Wabang, dan A. Palinggi, “Pengaruh Bayangan terhadap Output Tegangan dan Kuat Arus pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” Politeknik Negeri Kupang, 2018.
- [14]. Nadia Al-Rousan, Nor Ashidi Mat Isa, and Mohd Kharirunaz M.D “Advances in Solar Photovoltaic Tracking Systems: A review,” Universiti Sains Malaysia, 2018.
- [15]. R. Banerjee, “Solar Tracking System,” Guru Nanak Institute of Technology, 2015.
- [16]. G. H. Susilo dan B. Winardi, “Diesel Dan Energi Terbarukan Di Pulau Enggano , Bengkulu,” Universitas Diponegoro, 2014.
- [17]. E. Setyani, B. Winardi, dan Karnoto, “Analisis Potensi dan Unjuk Kerja Perencanaan PLTS On Grid System di GOR Jatidiri Semarang Menggunakan Software PVSyst 6.43,” Universitas Diponegoro, 2019.