

## PERANCANGAN PLTS HYBRID DENGAN BIDIRECTIONAL DC-DC CONVERTER DI GEDUNG ICT UNIVERSITAS DIPONEGORO MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB SIMULINK

Rizal Fahmi Saefuddin<sup>\*)</sup>, Bambang Winardi dan Sudjadi

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

<sup>\*)</sup>E-mail: rizalfahmi84@yahoo.com

### Abstrak

Penggunaan energi fosil yang terus menerus menyebabkan ketersediannya makin langka, sehingga dibutuhkan sumber energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan, salah satunya energi matahari. Salah satu bagian penting dari sistem energi terbarukan adalah penyimpanan. Elemen penyimpanan yang digunakan berupa baterai. Dibutuhkan rangkaian konverter untuk mengatur arah aliran daya guna mengisi dan menggunakan energi dari baterai. Dalam Tugas Akhir ini telah dirancang Bidirectional DC-DC Converter metode kontrol Proportional-Integral. Pengujian dilakukan dengan variasi iradiasi dan variasi suhu. Hasil pengujian variasi iradiasi 0 W/m<sup>2</sup>, baterai mengalami kondisi discharging dan mengalirkan daya ke beban sebesar 1,58 kW. Pada pengujian variasi iradiasi 200 W/m<sup>2</sup>, baterai mengalami kondisi discharging dan mengalirkan daya ke beban sebesar 611 W. Sedangkan pada iradiasi 400 W/m<sup>2</sup>, 600 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup> dan 1000 W/m<sup>2</sup> baterai mengalami kondisi charging karena beban sudah disuplai oleh panel sepenuhnya. Hasil pengujian ketika suhu panel surya 25°C arus pada baterai sebesar 54,35 A, ketika suhu 35°C arus pada baterai sebesar 51,1 A, dan ketika suhu 45°C arus pada baterai sebesar 47,76 A. Semakin tinggi suhu pada panel surya maka semakin kecil arus yang masuk ke baterai.

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

### Abstract

*The continuous use of fossil energy causes its availability to become increasingly scarce, so that clean and environmentally friendly renewable energy sources are needed, one of which is solar energy. One of the important parts of the renewable energy system is storage. A converter circuit is needed to adjust the direction of power flow to charge and use energy from the battery. In this final project, a Proportional-Integral control method of Bidirectional DC-DC Converter has been designed. Tests were carried out with variations in irradiation and temperature. When the irradiation is 0W/m, the battery is discharged and flows power to the load of 1,58kW. When the irradiation is 200W/m<sup>2</sup>, the battery is discharged and delivers power to the load of 611W. Whereas in the irradiation of 400W/m<sup>2</sup>, 600W/m<sup>2</sup>, 800W/m<sup>2</sup> and 1000W/m<sup>2</sup> the battery is charged because the load supplied by the PV completely. When the temperature of the solar panel is 25°C the current in the battery is 54,35A, when the temperature is 35°C the current in the battery is 51,1A, and when the temperature is 45°C the current in the battery is 47,76A. The higher the temperature on the PV, the smaller the current that enters the battery.*

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

### 1. Pendahuluan

Kebijakan pemerintah pusat Indonesia mengenai Rencana Pengelolaan Energi Nasional yang disingkat RUEN merupakan merupakan penjabaran dan rencana pelaksanaan Kebijakan Energi Nasional yang bersifat lintas sektor untuk mencapai sasaran kebijakan energi nasional. Pemerintah mencanangkan total rencana pembangunan pembangkit listrik sampai pada tahun 2025 adalah sebesar 56.024 MW, dimana 23 % dari total

pembangkitan tersebut merupakan rencana pembangunan pembangkit listrik dengan mengandalkan potensi energi baru terbarukan (EBT). Pada tahun 2025 Indonesia direncanakan dapat membangun pembangkit EBT sebesar 12.800 MW. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu jenis pembangkit EBT yang berkembang di Indonesia. PLTS merupakan suatu sistem yang mampu mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan modul photovoltaic. Berdasarkan data RUEN pengembangan pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia diproyeksikan sebesar 6.500 MW pada tahun 2025 [1][2]. Hal ini didukung oleh

wilayah Indonesia yang terletak di daerah ekuator yaitu wilayah tengah yang membagi bola bumi menjadi bagian utara dan selatan. Letak wilayah ini mengakibatkan tersedianya sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari. Berdasarkan peta insolasi matahari, Indonesia memiliki potensi energi listrik yang berasal dari matahari sebesar 4.5 kW/m<sup>2</sup> hingga 4.8 kW/m<sup>2</sup> per hari [3][4].

Salah satu bagian penting dari sistem energi terbarukan adalah penyimpanan. 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. Pemicuan Bidirectional DC-DC Converter menggunakan Pulse Width Modulation (PWM) agar didapatkan sinyal referensi yang presisi[5-7].

Gedung ICT Undip merupakan salah satu Gedung yang memiliki peranan penting di Universitas Diponegoro. Gedung tersebut memiliki beberapa fasilitas dan ruangan diantaranya ialah ruang kantor, ruang meeting, hall, ruang server, ruang seminar. Semua fasilitas tersebut memiliki peralatan yang membutuhkan energi listrik seperti komputer, lampu, dan lain sebagainya. Lalu jika listrik padam, maka segala kegiatan akan terhambat dikarenakan segala urusan yang ada akan mengalami gangguan. Salah satu cara agar kegiatan belajar mengajar tetap berlangsung normal yaitu dengan memasang PLTS sebagai tenaga listrik cadangannya.

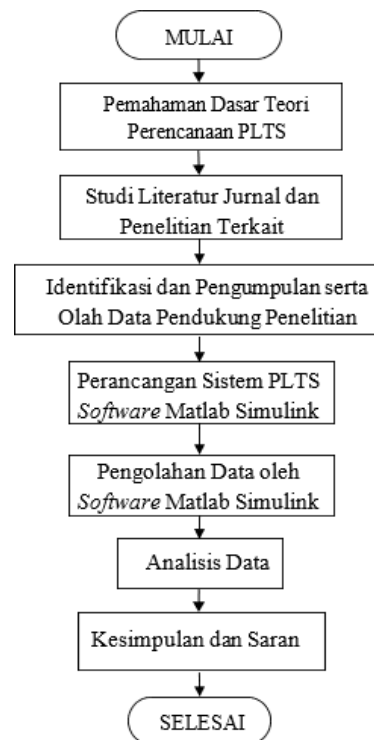
Gedung ICT Undip dipilih karena mempunyai lahan kosong yang tidak terpakai serta tempat parkir yang cukup luas. Lahan kosong dan tempat parkir tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat perencanaan PLTS dengan memanfaatkan lahan kosong dan tempat parkir pada Gedung ICT Undip 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[13][14].

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Simulasi

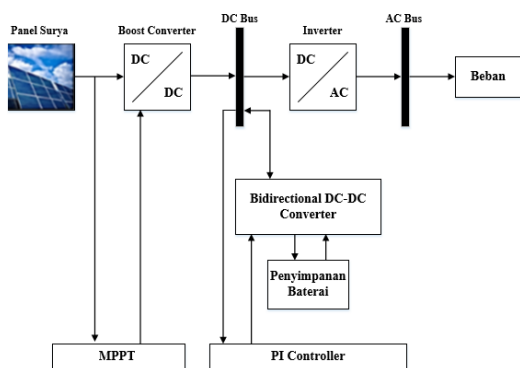
Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid dengan Penyimpanan Baterai Menggunakan Bidirectional DC-DC Converter dengan Kontrol PI di Gedung ICT Universitas Diponegoro Menggunakan Software Matlab Simulink” dapat dilihat pada gambar 1.



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/menuju perangkat penyimpanan, selain itu dapat mengendalikan tegangan DC Bus sesuai dengan tegangan referensi yang diberikan[12].

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-integral, serta blok beban dan penyimpanan daya. Diagram blok simulasi yang dirancang pada tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Perancangan Simulasi

## 2.2. Perancangan Simulasi

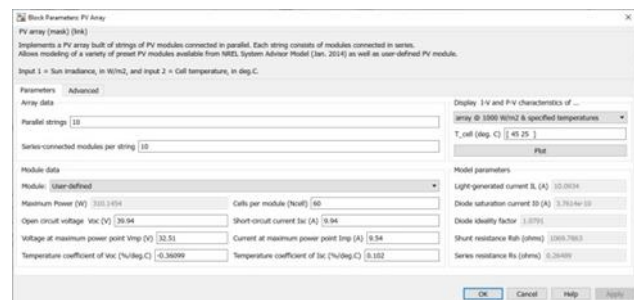
Dengan potensi pemanfaatan energi matahari dan penggunaan konsumsi energi listrik yang besar di Gedung ICT Undip, dipilih sebuah sistem yaitu PLTS Off-Grid, dimana sumber energi listrik yang digunakan guna mencukupi kebutuhan energi listrik Gedung ICT Undip tidak hanya dicatu oleh PLTS saja, namun juga oleh baterai. Hal ini dikarenakan catu daya yang diberikan oleh PLTS masih belum mencukupi perkiraan penggunaan beban harian di Gedung ICT Undip apabila sinar matahari dihalangi awan, sehingga dibutuhkan sumber catu daya lain yang dapat memenuhi kebutuhan beban harian tersebut. PLTS ini dapat dikatakan bersistem Off-Grid dikarenakan saat daya PLTS kurang dari yang seharusnya untuk mensuplai beban di Gedung ICT Undip, beban akan di suplai oleh baterai. Melalui software Matlab Simulink perancangan 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 Gedung ICT Undip[8-11].

Model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Gedung ICT Undip 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

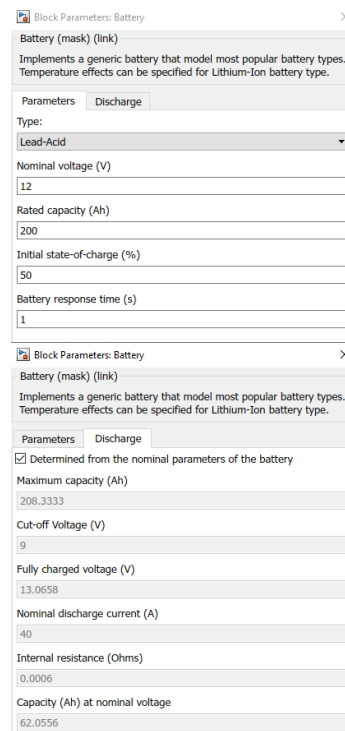
Jenis panel surya yang digunakan dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di Gedung ICT Undip Semarang ini menggunakan panel surya merk AXIpremium BLK AC-310M/60S dengan tipe sel monocrystalline dan spesifikasi ditunjukkan gambar 3.



Gambar 3 Spesifikasi Panel Surya

#### B. Baterai

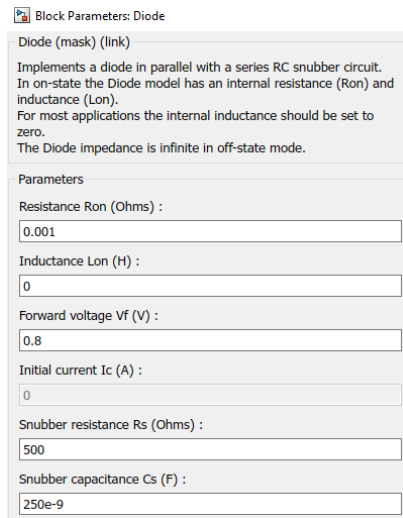
Baterai yang akan digunakan dalam perancangan system PLTS ini adalah jenis Techfine yaitu Baterai UD200-12 200AH 12V Lead-Acid seperti yang spesifikasinya ditunjukkan gambar 4. Baterai ini memiliki kapasitas 200 Ah dengan tegangan normal kerja 12 Volt.



Gambar 4. Spesifikasi Baterai

#### C. Dioda

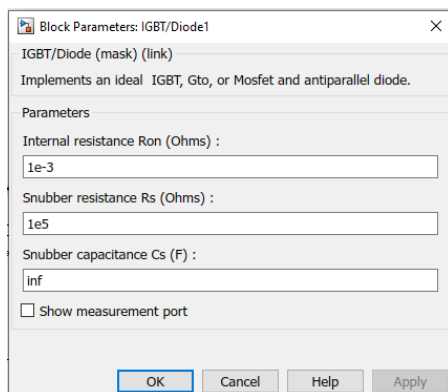
Dioda yang akan digunakan dalam simulasi sistem PLTS ini ditunjukkan pada Gambar 5 berikut. Dioda yang digunakan memiliki resistansi dalam sebesar 0.001 ohm dan induktansi dalam sebesar 0 H. Untuk beberapa pengaplikasian, induktansi dalam seharusnya memang di set 0.



Gambar 5. Spesifikasi Diode

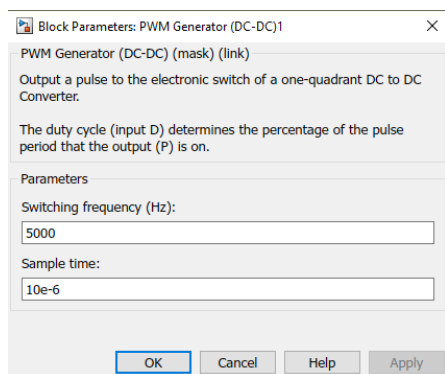
#### D. IGBT

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

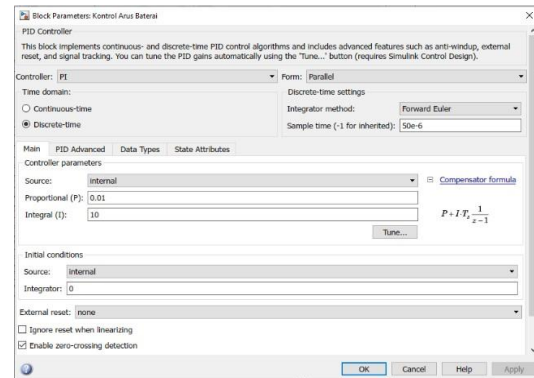


Gambar 7. Spesifikasi PWM Generator

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 10-6 s.

#### 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. Kontroler Proportional-Integral

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

$$G_{PI}(s) = K_p [1 + T_s] e(s)$$

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

- $K_p$  untuk mendapatkan respon transient yang cepat dan kestabilan yang bagus.
- Penggunaan integrator ( $\frac{K_p}{T_{is}}$ ) 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  $K_i = 10$  [14-16].

### 3. Hasil dan Analisis

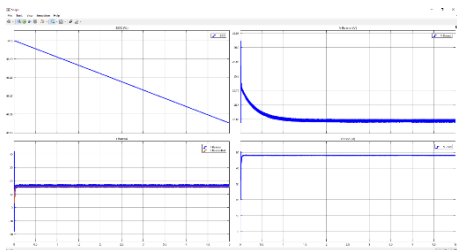
#### 3.1. Pengujian Rangkaian Bidirectional DC- DC Converter

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.

### 3.1.1. 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.

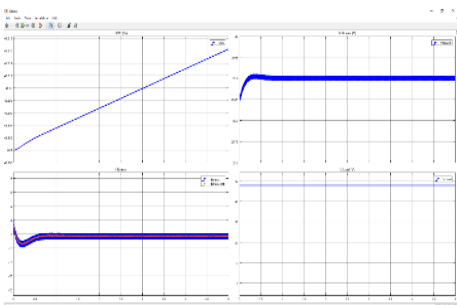


Gambar 9. Grafik pengujian kondisi Discharging

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 16,19 A, yang berarti kontrol proportional-intergral sudah berjalan dengan baik.

### 3.1.2. Pengujian Mode 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.



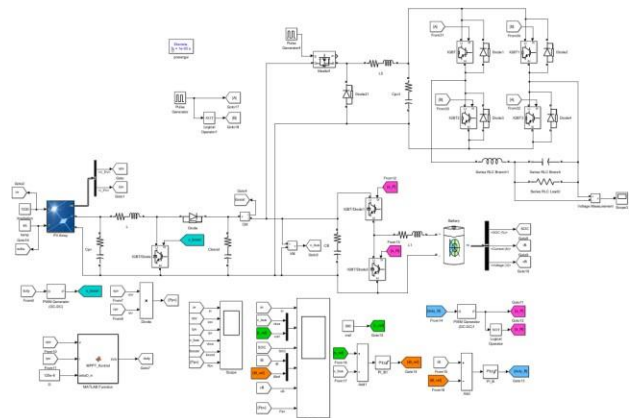
Gambar 10. Grafik pengujian kondisi Charging

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-intergral sudah berjalan dengan baik.

## 3.2. 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 Gedung ICT Undip 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.



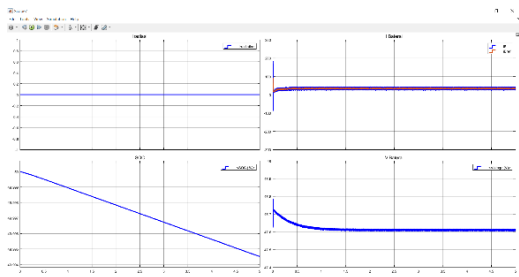
Gambar 11. Rangkaian Pengujian Sistem PLTS Dengan Penyimpanan Baterai Menggunakan Bidirectional DC-DC Converter

Dalam tugas akhir ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan 132 panel surya (11 seri dan 12 paralel) yang masing-masing berkapasitas 310 Watt Power, kemudian 144 buah baterai 24 Volt 200 Ah, dan 1 buah inverter, serta menyuplai beban 13,5 KW.

### 3.2.1. Pengujian Variasi Iradiasi

Variasi nilai iradiasi dilakukan untuk mengemulsikan gangguan pada sistem PLTS dengan penyimpanan baterai menggunakan Bidirectional DC-DC Converter. Pada pengujian ini nilai suhu di set 25°C dan beban sampel yang digunakan sebesar 1,5 kW. Variasi nilai iradiasi yang digunakan pada pengujian ini adalah Iradiasi 0 W/m<sup>2</sup>, Iradiasi 200 W/m<sup>2</sup>, Iradiasi 400 W/m<sup>2</sup>, Iradiasi 600 W/m<sup>2</sup>, Iradiasi 800 W/m<sup>2</sup> dan Iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup>.

A. Kondisi 1 (Iradiasi 0 W/m<sup>2</sup>)



Gambar 12. Grafik pengujian kondisi 1 (Iradiasi 0 W/m<sup>2</sup>)

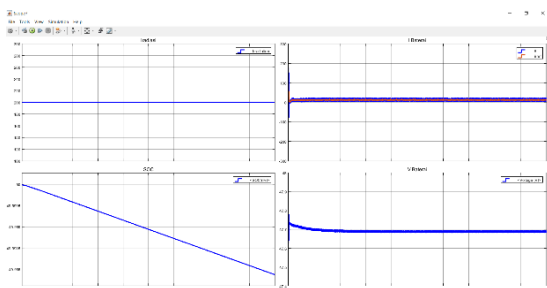
Dari Gambar 12 dapat dilihat ketika iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> nilai arus bertanda positif menunjukkan arah arus keluar dari baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian Bidirectional DC-DC Converter dalam keadaan discharging. Pada saat kondisi ini beban sepenuhnya disuplai oleh baterai karena daya panel tidak mencukupi kebutuhan daya. Tegangan yang dihasilkan oleh baterai sebesar 47,61 V dan arus sebesar 33,24 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 baterai sebesar 47,61 V dan arus sebesar 33,24 A, maka daya yang dihasilkan oleh semua baterai sebesar 1,58 KW. Nilai daya tersebut didapatkan dari perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Daya baterai keseluruhan} &= V \text{ Baterai} \cdot I \text{ Baterai} \\ \text{Daya baterai keseluruhan} &= 47,61 \cdot 33,24 \\ \text{Daya baterai keseluruhan} &= 1.582 \text{ W} = 1,58 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dalam pengujian ini dapat dilihat, ketika nilai ketika iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C baterai mampu menghasilkan daya sebesar 1,58 KW. Hal ini membuktikan bahwa pada saat panel tidak menghasilkan cukup daya, baterai mampu menyuplai beban di Gedung ICT Undip.

B. Kondisi 2 (Iradiasi 200 W/m<sup>2</sup>)



Gambar 13. Grafik pengujian kondisi 2 (Iradiasi 200 W/m<sup>2</sup>)

Dari Gambar 13 dapat dilihat ketika iradiasi 200 W/m<sup>2</sup> nilai arus bertanda positif menunjukkan arah arus keluar dari baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian

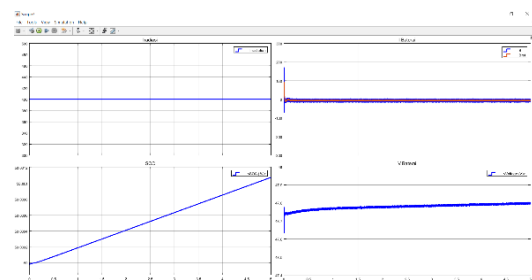
Bidirectional DC-DC Converter dalam keadaan discharging. Pada saat kondisi ini beban masih disuplai oleh baterai karena panel belum menghasilkan daya keluaran yang cukup untuk menyuplai beban. Tegangan yang dihasilkan oleh baterai sebesar 47,69 V dan arus sebesar 12,81 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol proportional-integral sudah berjalan dengan baik.

Dengan nilai tegangan yang dihasilkan oleh baterai sebesar 47,69 V dan arus sebesar 12,81 A, maka daya yang dihasilkan oleh semua baterai sebesar 611 W. Nilai daya tersebut didapatkan dari perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Nilai daya tersebut didapatkan dari perhitungan berikut.} \\ \text{Daya baterai keseluruhan} &= V \text{ Baterai} \cdot I \text{ Baterai} \\ \text{Daya baterai keseluruhan} &= 47,69 \cdot 12,81 \\ \text{Daya baterai keseluruhan} &= 611 \text{ W} \end{aligned}$$

Dalam pengujian ini dapat dilihat, ketika nilai ketika iradiasi 200 W/m<sup>2</sup> panel masih belum mampu menyuplai beban dan baterai mampu menghasilkan daya sebesar 611 W. Hal ini membuktikan bahwa baterai mampu menyuplai beban di Gedung ICT Undip.

C. Kondisi 3 (Iradiasi 400 W/m<sup>2</sup>)



Gambar 14. Grafik pengujian kondisi 3 (Iradiasi 400 W/m<sup>2</sup>)

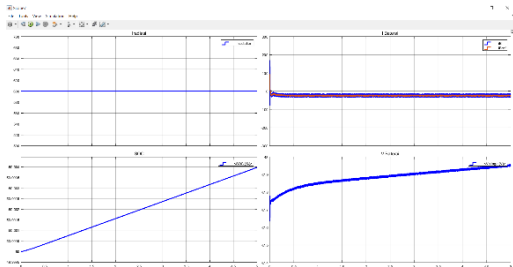
Dari Gambar 14 dapat dilihat ketika iradiasi 400 W/m<sup>2</sup> nilai arus bertanda negatif menunjukkan arah arus masuk menuju ke baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian Bidirectional DC-DC Converter dalam keadaan charging. Pada saat kondisi ini beban disuplai oleh panel surya dan apabila terdapat daya berlebih maka akan dialirkan ke baterai. Tegangan yang masuk ke baterai sebesar 47,8 V dan arus sebesar 6,62 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol proportional-integral sudah berjalan dengan baik.

D. Kondisi 4 (Iradiasi 600 W/m<sup>2</sup>)

Dari Gambar 15 dapat dilihat ketika iradiasi 600 W/m<sup>2</sup> 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

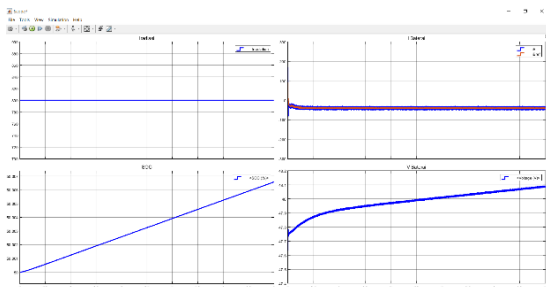


baterai. Tegangan yang masuk ke baterai sebesar 47,95 V dan arus sebesar 24,19 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol proportional-integral sudah berjalan dengan baik.



Gambar 15. Grafik pengujian kondisi 4 (Iradiasi 600 W/m<sup>2</sup>)

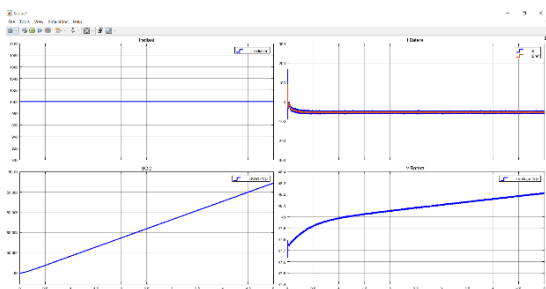
**E. Kondisi 5 (Iradiasi 800 W/m<sup>2</sup>)**



Gambar 16. Grafik pengujian kondisi 5 (Iradiasi 800 W/m<sup>2</sup>)

Dari Gambar 16 dapat dilihat ketika iradiasi 800 W/m<sup>2</sup> 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 baterai sebesar 48,09 V dan arus sebesar 39,87 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol proportional-integral sudah berjalan dengan baik.

**F. Kondisi 6 (Iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup>)**



Gambar 17. Grafik pengujian kondisi 6 (Iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup>)

Dari Gambar 17 dapat dilihat ketika iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> 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 baterai sebesar 48,21 V dan arus sebesar 54,35 A. Nilai arus baterai hampir mendekati nilai arus referensi yang membuktikan bahwa kontrol proportional-integral sudah berjalan dengan baik..

**Tabel 1. Data hasil pengujian Simulasi Sistem PLTS dengan Penyimpanan Baterai menggunakan Bidirectional DC-DC Converter Variasi Iradiasi**

Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	V Baterai (Volt)	I Baterai (A)	I Baterai Ref (A)
0	47,61	33,24	33,42
200	47,69	12,81	12,97
400	47,8	-6,62	-6,529
600	47,95	-24,19	-24,07
800	48,09	-39,87	-39,87
1000	48,21	-54,35	-54,19

Berdasarkan tabel 1 diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai iradiasi 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 kondisi charging, semakin besar iradiasi yang masuk ke panel surya maka semakin besar pula arus yang masuk ke baterai.

Ketika nilai iradiasi 0 W/m<sup>2</sup> tegangan yang dihasilkan oleh baterai sebesar 47,61 V dan arus sebesar 33,24 A, ketika nilai iradiasi 200 W/m<sup>2</sup> tegangan yang dihasilkan oleh baterai sebesar 47,69 V dan arus sebesar 12,81 A, ketika nilai iradiasi 400 W/m<sup>2</sup> tegangan yang masuk ke baterai sebesar 47,8 V dan arus sebesar 6,62 A, ketika nilai iradiasi 600 W/m<sup>2</sup> tegangan yang masuk ke baterai sebesar 47,95 V dan arus sebesar 24,19 A, ketika nilai iradiasi 800 W/m<sup>2</sup> tegangan yang masuk ke baterai sebesar 48,09 V dan arus sebesar 39,87 A dan ketika nilai iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> tegangan yang masuk ke baterai sebesar 48,21 V dan arus sebesar 54,35 A.

**3.2.2. Pengujian Variasi Suhu Panel Surya**

Variasi nilai iradiasi dilakukan untuk mengemulsikan gangguan pada sistem PLTS dengan penyimpanan baterai menggunakan Bidirectional DC-DC Converter. Pada pengujian ini nilai iradiasi di set 1000 W/m<sup>2</sup> dan beban sampel yang digunakan sebesar 1,5 kW. Variasi nilai suhu pada panel surya yang digunakan pada pengujian ini adalah 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C.

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

Suhu (°C)	V Baterai (Volt)	I Baterai (A)	I Baterai Ref (A)
25	48,21	-54,35	-54,19
30	48,19	-52,76	-52,58
35	48,17	-51,1	-50,97
40	48,16	-49,39	-49,41
45	48,11	-47,76	-47,75

Berdasarkan tabel 2 diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai suhu pada panel surya maka arus baterai akan semakin kecil. Dari tabel juga dapat dilihat bahwa ketika nilai arus bertanda negatif menunjukkan arah arus masuk ke baterai sehingga dapat dilihat bahwa rangkaian Bidirectional DC-DC Converter dalam keadaan charging.

Ketika suhu panel surya 25°C tegangan pada baterai sebesar 48,21 V dan arus sebesar 54,35 A, ketika suhu panel surya 30°C tegangan pada baterai sebesar 48,19 V dan arus sebesar 52,76 A, ketika suhu panel surya 35°C tegangan pada baterai sebesar 48,17 V dan arus sebesar 51,1 A, ketika suhu panel surya 40°C tegangan pada baterai sebesar 48,16 V dan arus sebesar 49,39 A, dan ketika suhu panel surya 45°C tegangan pada baterai sebesar 48,11 V dan arus sebesar 47,76 A.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir berjudul Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid dengan Penyimpanan Baterai Menggunakan Bidirectional DC-DC Converter dengan Kontrol PI di Gedung ICT Universitas Diponegoro Menggunakan Software 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.

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>, baterai mengalami kondisi discharging dan mengalirkan daya ke beban sebesar 1,58 kW. Pada pengujian variasi iradiasi 200 W/m<sup>2</sup>, baterai mengalami kondisi discharging dan mengalirkan daya ke beban sebesar 611 kW. Sedangkan pada pengujian variasi iradiasi 400 W/m<sup>2</sup>, 600 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup> dan 1000 W/m<sup>2</sup> baterai mengalami kondisi charging karena beban sudah disuplai oleh panel sepenuhnya.

Pada pengujian ketika suhu panel surya 25°C tegangan pada baterai sebesar 48,21 V dan arus sebesar 54,35 A, ketika suhu panel surya 30°C tegangan pada baterai sebesar 48,19 V dan arus sebesar 52,76 A, ketika suhu panel surya 35°C tegangan pada baterai sebesar 48,17 V dan arus sebesar 51,1 A, ketika suhu panel surya 40°C tegangan pada baterai sebesar 48,16 V dan arus sebesar 49,39 A, dan ketika suhu panel surya 45°C tegangan pada baterai sebesar 48,11 V dan arus sebesar 47,76 A. Semakin tinggi suhu pada panel surya maka semakin kecil arus yang masuk ke baterai.

#### Referensi

- [1]. PT. PLN. (Persero), Rencana usaha Penyediaan Tenaga Listrik, Jakarta: PT PLN (Persero) 2017- 2026, 2017.
- [2]. K. RI, Blue Print Pengelolaan Energi Nasional, Jakarta, 2006-2025, p. Jakarta.
- [3]. K. RI, Blue Print Pengelolaan Energi Nasional, Jakarta, 2006-2025, p. Jakarta.
- [4]. N. S. Kumara, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediannya di Indonesia," Teknologi Elektro, Vols. 9, No.1, pp. 68-75, 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 N0.10 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.