



## Penggunaan Prototype DC Converter Untuk Peningkatan Kinerja Panel Surya 1000 Watt

Taryana Taryana<sup>1</sup>, Yayuk Suprihartini<sup>1\*</sup>, Rubby Soebiantoro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Progam Studi Teknik Listik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Indonesia

Corresponding author email: [yayuk.suprihartini@ppicurug.ac.id](mailto:yayuk.suprihartini@ppicurug.ac.id)

### Article Info

#### Article history:

Received March 15, 2024

Approved May 09 2024

#### Keywords:

*Price, Inverter, Savings*

#### ABSTRACT

*Solar power plants (PLTS) are power plants that convert solar energy into environmentally friendly electrical energy. Reducing dependence on fossil fuel electricity and the increasingly expensive price of PLN electricity so that there is a need for alternative sources of renewable electricity, and the obstacle is the large investment in PLTS, including systems on-grid, off-grid, and hybrid. The use of sunlight in solar power plants is still limited to approximately 5 hours, the time range is from 10.00 to 14.30 WIB. To achieve the goal of extending the maximum period for collecting renewable energy, support can be provided by designing a prototype DC Converter, The design to be implemented uses the R&D research method. This research method is carried out to produce a product, test the effectiveness of the product, and perfect the product according to the criteria for creating a new product through different stages. The DC converter prototype functions as a replacement solar Charge Controller (SCC) is low cost and its performance produces electricity from 08:00 to 16:00 WIB. The Inverter is 12V 1000 watts and the output voltage of a 270Wp solar panel is around 33V DC, so the DC conversion function will reduce the output voltage of the solar panel to 12V DC and the load used by 30%. Installed load 240 watts or 0.24 kWh. can be fully lit for an average of 7 hours. By using a DC converter prototype, savings can be achieved assuming the selling price of PLN electricity is Rp. 1,444.70,-/kWh is Rp. 72,812.88/month.*

#### ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan pembangkit tenaga listrik yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik ramah lingkungan. Mengurangi ketergantungan listrik berbahan bakar fosil dan harga listrik PLN semakin mahal sehingga perlu adanya alternatif sumber listrik terbarukan, dan kendalanya adalah besarnya investasi pada PLTS, termasuk sistem *on-grid*, *off-grid*, dan *hybrid*. Penggunaan sinar matahari pada pembangkit listrik tenaga surya tetap dibatasi kurang lebih 5 jam, rentang waktu dari jam 10.00 hingga 14.30 WIB. Untuk dapat mencapai tujuan memperpanjang jangka waktu maksimal pengumpulan energi terbarukan, dukungan dapat diberikan dengan merancang prototype *DC Converter*, rancangan yang akan diimplementasikan menggunakan metode penelitian R&D). Metode penelitian ini dilaksanakan guna menghasilkan suatu produk, menguji keefektifan produk, dan menyempurnakan produk sesuai kriteria untuk menciptakan produk baru

melalui tahapan yang berbeda-beda. Prototype konverter DC berfungsi menggantikan *Solar Charge Controller* (SCC) berbiaya rendah dan kinerjanya menghasilkan listrik dari jam 08:00 hingga 16:00 WIB. *Inverter* 12V 1000 watt dan tegangan keluaran panel surya 270Wp adalah sekitar 33V DC, sehingga fungsi konversi DC akan menurunkan tegangan keluaran panel surya menjadi 12V DC dan beban yang digunakan sebesar 30%. Beban terpasang 240 watt atau 0,24 kWh. dapat menyala penuh rata-rata selama 7 jam. Dengan menggunakan prototipe konverter DC, penghematan dapat dicapai dengan asumsi harga jual listrik PLN adalah Rp.1.444,70,-/kWh adalah Rp. 72.812,88/bulan.

Copyright © 2024, The Author(s).

This is an open access article under the CC-BY-SA license



**How to cite:** Taryana, T., Suprihartini, Y., & Soebiantoro, R. (2024). Penggunaan Prototype DC Converter Untuk Peningkatan Kinerja Panel Surya 1000 Watt. *Jurnal Ilmiah Global Education*, 5(2), 922–936. <https://doi.org/10.55681/jige.v5i2.2635>

## PENDAHULUAN

Radiasi yang dihasilkan oleh sinar matahari sangatlah besar sehingga menjadi sumber listrik alternatif dan merupakan sumber energi terbarukan yang sangat menjanjikan dan ramah lingkungan (Halim & Oetomo, 2020). Dimana pembangkit listrik energi matahari ini merupakan salah satu sistem pembangkit listrik dengan mengubah energi matahari menjadi energi (Iman & Pambayun, 2018; Rosalina & Sinduningrum, 2019). Di Indonesia pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya PLTS menjadi suatu pembangkit sangat cocok dilakukan. PLTS dengan memanfaatkan sinar matahari yang melimpah dan gratis merupakan pembangkitan sumber listrik yang terbarukan (Perdana et al., 2018). Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat diminati karena merupakan sumber daya yang melimpah serta bisa dimanfaatkan untuk keperluan apa saja dan di mana saja misalkan untuk bangunan besar, pabrik, perumahan, dan lainnya (Alifyanti et al., 2018) Pemanfaatan energi listrik selalu akan meningkat dari waktu ke waktu sehingga dibutuhkan energi listrik alternatif untuk memenuhi penambahan tersebut (Boxwell, 2012; Fuaddin & Daud, 2021)

Selain itu pembangkit listrik tenaga energi matahari bisa menjadi pilihan dalam memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik yang sangat ramah lingkungan (Putri et al., 2020) Saat ini kita mengenal PLTS untuk kebutuhan rumah tangga menggunakan sistem Hybrid, Off-Grid, dan On-Grid (Wurfel & Wurfel, 2016). Penggunaan sistem (Abit Duka et al., 2018) Hybrid adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang menggunakan dua atau lebih sumber energi, yaitu energi surya dan sumber energi lain seperti bahan bakar fosil, generator diesel, atau kincir angin. Sistem ini dapat bekerja sebagai PLTS *Offgrid* atau PLTS *Ongrid* tergantung pada kebutuhan dan kondisi lingkungan. Sistem PLTS *Hybrid* terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu panel surya, baterai, kontroler pengisian baterai, inverter, dan generator atau sumber energi lain. Panel surya mengumpulkan energi surya dan menyimpannya di baterai untuk digunakan ketika sinar matahari tidak tersedia.

Kontroler pengisian baterai digunakan untuk mengatur aliran energi antara panel surya, baterai, dan sumber energi lain. Inverter kemudian digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh peralatan listrik (Suprihartini et al., 2023). Ketika sumber energi lain digunakan, sistem dapat beralih dari PLTS *Offgrid* ke PLTS *Ongrid*. Sistem PLTS Hybrid memiliki beberapa keuntungan, yaitu dapat menghasilkan listrik

yang lebih stabil dan andal karena memiliki sumber energi cadangan ketika sinar matahari tidak tersedia. Selain itu, sistem ini juga dapat menghemat biaya listrik karena dapat menggunakan sumber energi yang paling efisien dan hemat biaya sesuai dengan kondisi lingkungan. Namun, sistem PLTS *Hybrid* juga memiliki beberapa kelemahan, seperti biaya instalasi yang lebih tinggi dan memerlukan perawatan yang lebih intensif. Selain itu, pengaturan sistem harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak terjadi kegagalan sistem atau kerusakan pada komponen. Kesimpulannya, sistem PLTS *Hybrid* adalah solusi yang fleksibel dan ramah lingkungan yang dapat menghemat biaya listrik dan menghasilkan listrik yang andal,

Sistem Offgrid adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang bekerja secara mandiri dan tidak terhubung dengan jaringan listrik utama. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen, yaitu panel surya, baterai, kontroler pengisian baterai, inverter, dan lain-lain. Sistem Keuntungan dari sistem PLTS *Offgrid* adalah dapat menggunakan sumber energi terbarukan, yaitu sinar matahari, sehingga ramah lingkungan dan berkelanjutan. Selain itu, sistem ini juga dapat menjadi solusi yang lebih ekonomis jika biaya untuk terhubung ke jaringan listrik utama terlalu mahal atau jika pemadaman listrik sering terjadi. Namun, sistem PLTS *Offgrid* juga memiliki beberapa kelemahan, seperti membutuhkan perencanaan yang cermat dan desain yang baik agar dapat memberikan daya yang cukup untuk kebutuhan yang diinginkan. Sistem ini juga memerlukan perawatan yang berkala agar komponen-komponennya dapat berfungsi dengan baik dan mencegah kerusakan pada baterai.

Dan sistem (Mohammad Hafidz ;, 2015) On-Grid adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung dengan jaringan listrik utama. Sistem ini menghasilkan listrik dari energi surya melalui panel surya dan langsung mengalirkannya ke jaringan listrik umum. Sistem PLTS **Ongrid** terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu panel surya, inverter, dan meter listrik. Panel surya mengumpulkan energi surya dan mengubahnya menjadi arus listrik searah (DC). Arus tersebut kemudian dikirim ke inverter untuk diubah menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga atau disalurkan ke jaringan listrik utama. Meter listrik digunakan untuk mengukur jumlah energi yang dihasilkan oleh *sistem PLTS Ongrid* dan jumlah energi yang dikonsumsi oleh rumah tangga atau perusahaan. Jumlah energi yang tidak digunakan dapat disalurkan ke jaringan listrik utama melalui sistem penjualan balik (*feed-in tariff*). Sistem PLTS *Ongrid* dapat mengurangi konsumsi energi dari jaringan listrik utama dan menghasilkan penghematan biaya listrik bagi pemilik sistem. Selain itu, sistem ini juga ramah lingkungan dan berkelanjutan karena menggunakan sumber energi terbarukan. Namun, sistem PLTS *Ongrid* memiliki beberapa kelemahan, yaitu ketika terjadi pemadaman listrik pada jaringan listrik utama, sistem PLTS *Ongrid* tidak dapat beroperasi. Selain itu, biaya untuk membeli dan memasang sistem PLTS *Ongrid* mungkin lebih tinggi dibandingkan dengan biaya listrik dari jaringan listrik utama. Dimana sistem PLTS *Ongrid* adalah solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan yang dapat mengurangi pengeluaran biaya listrik bagi pemiliknya.

Namun, penting untuk mempertimbangkan kelemahan dan kelebihan sistem ini sebelum memutuskan untuk membeli dan memasangnya. Sistem yang ada tersebut masing-masing mempunyai kelebihan maupun kekurangan dengan biaya investasi yang masih lumayan mahal (Pradiyo et al., 2015; Salman, 2013) Dikarenakan biaya yang mahal pada pengadaan baterai sebagai penyimpan energi listrik yang di hasilkan oleh PLTS (Ramadhan et al., 2016)

Menurut referensi harga yang tertera di Online , untuk investasi awal dari beberapa sistem PLTS yaitu harga PLTS Hybrid sekitar Rp23.000.000 PLTS Off-Grid sekitar 40.000.000,- dan sistem PLTS On-Grid 20.000.000,- daya 1000 watt (Alifyanti et al., 2018). Berdasarkan latar

belakang yang telah disampaikan diatas maka penulis akan membuat PLTS yang mengurangi kekurangan dari sistem hybrid, Off-Grid dan sistem On-Grid (Chamdareno & Hilal, 2018). Sistem PLTS yang akan dipasang adalah jaringan instalasi yang tidak menggunakan baterai sebagai penyimpan daya listrik dan perangkat KWH meter EXIM.

Merujuk dari peneliti sebelumnya (Hani & Nugroho, 2021) dengan jurnal Analisis penggunaan boost converter pada daya keluaran panel surya pada warning light. (Saefuddin et al., 2021).

Perancangan PLTS hybrid dengan bidirectional DC-DC Konverter DC pada gedung ICT Universitas Diponegoro menggunakan software MATLAB Simulink. (Ismail & Zakri, 2020). Perancangan Boost Converter untuk Meningkatkan Tegangan Dari 12V ke 100 – 250V (Jabbar & Syafitri, 2021) Perancangan Boost Converter Menggunakan Voltage Feedback Pada Panel Surya (Assyidiq et al., 2017). Perancangan boost converter pada sistem microgrid bersumber solar sel. Dengan penelitian menggunakan *Prototype DC Converter* diharapkan terjadi penghematan modal awal pembangunan PLTS serta ada penghematan penggunaan listrik PLN. Dan Selain meningkatkan efisiensi energi surya, *prototype konnverter* DC meningkatkan tujuan utama dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan emisi CO<sub>2</sub>.

## METODE

Untuk mencapai tujuan di atas, dalam penyusunan tulisan ilmiah ini akan dilakukan metode : Penelitian *Research and Development* level tiga (Sugiyono, 2013). R&D atau *Research and Development* adalah suatu metode penelitian yang fokus pada pengembangan produk atau teknologi baru yang dapat memberikan manfaat bagi masyarakat. Metode penelitian R&D umumnya melibatkan beberapa tahapan yang saling terkait, yaitu:

- a. Riset Literatur: melakukan penelitian literatur tentang penggunaan panel surya, konverter DC, dan topik terkait lainnya. Tinjau studi sebelumnya tentang penggunaan konverter DC dalam sistem panel surya dan identifikasi kelemahan serta keunggulan yang telah diamati.
- b. Perancangan Prototype: memuat desain atau rencana untuk prototype konverter DC yang akan digunakan dalam penelitian. Ini termasuk memilih jenis konverter yang sesuai (misalnya buck, boost, buck-boost, dll.), spesifikasi teknisnya, dan bagaimana konverter ini akan diintegrasikan dengan panel surya yang ada,
- c. Pembuatan Prototype: mengimplementasikan desain konverter DC menjadi bentuk prototype fisik. Memperhatikan semua spesifikasi teknis dan parameter yang relevan.
- d. Uji Kinerja Awal: melakukan serangkaian uji coba awal untuk mengukur kinerja konverter DC yang baru dibuat. Hal ini bisa mencakup pengujian efisiensi, stabilitas output, kemampuan penyesuaian dengan variasi beban, dan lain-lain.
- e. Integrasi dengan Panel Surya: menghubungkan konverter DC dengan panel surya dan melakukan uji coba untuk mengukur kinerja keseluruhan sistem, termasuk bagaimana konverter DC memengaruhi output energi dari panel surya.
- f. Pengukuran Kinerja: Lakukan pengukuran kinerja yang teliti dan dokumentasikan hasilnya. Bandingkan kinerja sistem dengan dan tanpa penggunaan konverter DC, serta bandingkan dengan parameter yang dinyatakan dalam literatur sebagai standar atau target.
- g. Analisis Data: Analisis data yang telah dikumpulkan dari pengujian dan pengukuran. Identifikasi manfaat penggunaan konverter DC dalam meningkatkan kinerja panel surya 1000 watt..

Dalam pelaksanaan proyek akhir ini, dilakukan tahapan penelitian yang bertujuan untuk mempermudah dalam proses pembuatan proyek akhir :



**Gambar 1. Flowchat *Prototype DC Converter***

Metode pengumpulan data, proses pengumpulan data adalah merupakan kegiatan untuk memperoleh data di lapangan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Keabsahan data yang diperoleh serta kualifikasi pengumpul data sangat diperlukan untuk memperoleh data yang berkualitas. Pengukuran langsung: melakukan pengukuran langsung terhadap kinerja panel surya 1000 watt tanpa penggunaan konverter DC, kemudian pengukuran lagi setelah mengintegrasikan konverter DC. Diperoleh hasil ukur parameter seperti arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya dalam kedua kasus. Pengujian lapangan: rangkaian panel surya dengan dan tanpa konverter DC di lokasi yang sama dalam kondisi pengujian yang serupa. Hasil pencatatan data performa panel surya dalam situasi tersebut, seperti produksi energi selama periode waktu tertentu, efisiensi konversi, dan respons terhadap variasi intensitas cahaya matahari.

Eksperimen: mengukur kinerja panel surya dengan dan tanpa konverter DC dalam kondisi yang terkontrol. Ini memungkinkan untuk memodifikasi variabel-variabel tertentu seperti suhu, intensitas cahaya, dan beban, dan mengamati dampaknya terhadap kinerja panel surya dengan konverter DC. Simulasi Komputer: menggunakan perangkat lunak simulasi untuk memodelkan kinerja panel surya dengan dan tanpa konverter DC. Dengan menggunakan program simulasi seperti Simulink, PSpice, atau software lain yang memungkinkan simulasi sistem kelistrikan dan energi terbarukan. Studi kasus: melakukan studi kasus pada sistem panel surya yang sudah menggunakan konverter DC untuk melihat peningkatan kinerjanya.

Dengan melakukan wawancara dengan pemilik atau pengelola sistem tersebut, serta mengumpulkan data historis tentang kinerja sebelum dan setelah penerapan konverter DC. Survei dan Kuesioner: melakukan survei atau kuesioner kepada pemilik atau pengguna panel surya yang menggunakan konverter DC. Anda dapat mengumpulkan data tentang pengalaman mereka dengan konverter DC, apakah mereka melihat peningkatan kinerja, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi penggunaan konverter DC. Analisis Data Sekunder: Manfaatkan data sekunder dari penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik. Untuk mencari data dari jurnal-jurnal ilmiah, konferensi, atau laporan-laporan industri yang membahas tentang penggunaan konverter DC dalam meningkatkan kinerja panel surya.

Peneliti juga menggunakan informasi dari literatur dan buku-buku yang khusus menjelaskan program tersebut. Selama fase ini, peneliti melakukan tinjauan literatur dan analisis kebutuhan pengguna untuk mengidentifikasi masalah yang perlu dipecahkan

Observasi, dimana data yang diperoleh untuk diolah dalam penelitian ini data yang dibutuhkan antara lain mengukur output solar cell, input inverter, serta output inverter dari pagi sampai sore hari selama sebulan.

Metode analisis data, suatu langkah yang dilaksanakan melalui proses serta pengujian alat yang dikembangkan dalam pembuatan proyek akhir dengan judul “Penggunaan *Prototype Converter DC* Untuk Meningkatkan Kinerja Panel Surya 1000 Watt di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug”,

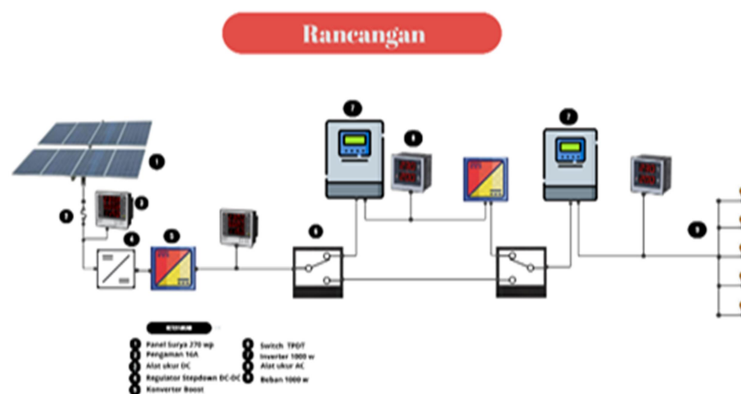
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Dalam melaksanakan penelitian guna menganalisis kinerja *prototype* penggunaan *converter* DC untuk menggantikan fungsi dari *Solar Charger Control* (SCC) yang berfungsi dalam mengatur pengisian baterai dari keluaran energi listrik panel surya serta untuk melindungi baterai pada saat pengisian, pengosongan dan mengurangi risiko yang bisa merusak baterai itu sendiri. Fungsi konverter DC-ke-DC merupakan perangkat elektromekanis atau rangkaian elektronik yang mengubah satu tegangan arus searah atau level arus ke level arus lainnya. Umumnya, perangkat hanya menggunakan satu sumber daya.

Namun, jika sub-rangkaian yang berbeda memerlukan tegangan yang berbeda agar dapat bekerja dengan baik, tegangan masukan perlu diubah ke tingkat rendah atau tinggi. Hal ini dapat dilakukan dengan konverter DC-DC. Selain itu, perangkat ini berfungsi juga untuk menstabilkan voltage dan tegangan tidak turun atau naik terlalu banyak.

Modul ini dipasang setelah panel surya dimana tegangan keluarannya diukur melalui voltmeter DC, dengan keluaran (*output*) yang sudah ditentukan besaran tegangan ini di stabilkan melalui perangkat *converter* DC sebesar 12V DC. Dikarenakan masukan (*input*) inverter yang dipakai dalam penelitian adalah 12V DC dengan keluaran merupakan tegangan AC 220 V. Tegangan bolak balik ini dapat dipergunakan untuk menyalakan beban lampu atau sebagai *charger accu*

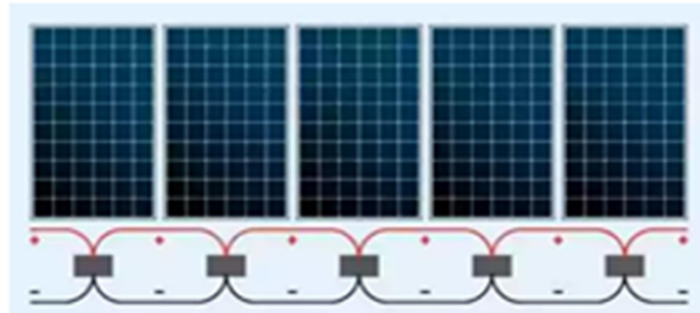


**Gambar 2. Rancangan *Prototype DC Converter***

## Pembahasan

### Mempersiapkan Produksi Uji Coba Konverter DC dan Panel Surya

Dalam penelitian ini, kami memilih jenis polikristalin karena harganya tidak terlalu mahal dan jenis polikristalin bekerja lebih baik di bawah langit mendung dan cuaca mendung. Jika modul dihubungkan secara paralel, untuk memperoleh output (keluaran) dari masing-masing panel surya adalah tetap sama tegangan. Menghubungkan modul surya secara paralel memungkinkan untuk mendapatkan lebih banyak modul surya tanpa melebihi batas tegangan inverter. Agar panel surya dapat berfungsi dengan baik, tegangan dan arus harus seimbang.



#### SPESIFIKASI PANEL SURYA

Rated Maximum Power (P <sub>m</sub> )	: 270 W ± 3 %
Voltage at P <sub>max</sub> (V <sub>mp</sub> )	: 31.5 V
Current at P <sub>max</sub> (I <sub>mp</sub> )	: 8.57 A
Open-Circuit Voltage	: 36.85 V ± 3%
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	: 10.02 A ± 3%
Maximum System Voltage	: 1000 VDC
Maximum Series Fuse Rating	: 20 A
Operating Temperatur	: -40°C s/d + 80°C
Cell Tecnology	: Poly-si
Dimension(mm)	: 1640x992x35 mm
All technical data as standart tes condition	
AM=1.5.E=1000w/m <sup>3</sup> .TC=25°C	

**Gambar 3. Rangkaian Pararal Data Spesifikasi Panel Surya**

**Regulator buck**, prinsip pengoperasian konverter *buck* adalah kontrol peralihan. Ketika saklar ditutup, dioda dalam rangkaian beroperasi secara terbalik, memungkinkan tegangan masukan mengalir melalui induktor dan beban. Jika saklar terbuka, dioda beroperasi dalam keadaan maju, memungkinkan energi yang tersimpan dalam induktor mengalir ke beban.

**Inverter** merupakan suatu perangkat elektronik yang berfungsi merubah listrik arus searah (DC) menjadi listrik arus bolak-balik (AC). Dalam penelitian ini menggunakan dua (2) set *inverter* 1000 w untuk dua (2) kondisi, dimana kondisi satu (1) keluaran dari panel surya tegangan sebesar 34 volt DC akan di turunkan menggunakan *step down DC Converter* dan akan di pertahankan tegangan 12 volt tersebut menggunakan *Step up DC Booster* menjadi stabil pada tegangan 12 volt karena tegangan kerja pada inverter 12 volt DC.

**Tabel 1. Spesifikasi Inverter**

SPESIFIKASI INVERTER	
Modified	: Sine ve
Output Voltage	: 220 V
Output Frequency	: 50 Hz $\pm$ 3 %
Imput Voltage	: 12 volt
Low Voltage range	: $\pm$ 10.5 volt
hh voltage range	: 15 volt
Overhead range	: 60° C $\pm$ 10°C
Max power	: 1000 watt

**Converter Boost Regulator Tegangan**, Rangkaian *boost converter* digunakan untuk menaikkan tegangan sumber dimana tegangan output akan memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi. Tegangan *output* konverter dapat dijaga pada nilai tertentu melalui pengaturan *duty cycle* PWM yang digunakan untuk proses switching mosfet pada converter. Perakitan *Prototype Converter DC*.

Pada proses perakitan kegiatan ini tim bersama untuk mengaplikasikan hasil rancangan kedalam *prototype converter DC*. Karena antara panel surya terpisah dengan control system kelistrikan maka di dalam pemasangan perangkat sesuai dengan fungsinya antara lain diawali dengan memasang *perangkan* input *step down* dan *step up* boost converter DC dipasang di awal atau setelah terminal output panel surya yang dilengkapi dengan alat ukur digital voltmeter DC. Dan keluaran dari *step up boost converter* melalui sakelar TPDT untuk memilih kondisi 1 atau kondisi 2.

Apabila pada percobaan kita pilih kondisi 1 maka keluaran dari *step up boost converter* tegangan sebesar 12V DC merupakan *input* untuk *inverter 1* dengan tegangan bolak balik (AC) dengan melihat alat ukur voltmeter AC dapat langsung dipergunakan menghidupkan beban atau lampu.

Demikian halnya untuk kondisi 2 hanya keluaran dari inverter 1 akan dipergunakan untuk *menghidupkan* atau sebagai input regulator 2 yang berfungsi akan menurunkan tegangan AC menjadi tegangan DC 12 V untuk menghidupkan inverter 2. Dengan perbedaan yang ada pada percobaan penelitian ini terletak pada jumlah regulator dan inverter.

*Pengujian Prototype Converter DC*, Uji coba keseluruhan dilakukan untuk mengetahui hasil akhir secara keseluruhan pada sistem yang dibuat, diantaranya: Pengujian solar cell, Untuk mengukur untuk tegangan, arus dan daya maksimum pada saat diberi berbagai kondisi, yaitu kondisi cerah, berawan, dan mendung. Tegangan keluaran (output) panel surya berada pada rentang 28,9 V s/d 34,7 V DC. Data ini diambil dari jam 08.00 s/d 16.00 dimana pada waktu tersebut radiasi sinar matahari merupakan kondisi yang bisa dimanfaatkan untuk penerangan. Karena di dalam penelitian berfokus pada penghematan penggunaan sumber listrik skala rumah tangga, maka pemakaian panel surya dengan kapasitas 4 x 270 wp total 1080wp diasumsikan bisa mem-back up listrik rumah tangga 1000 watt. Dengan menyusun panel surya secara paralel maka output yang dihasilkan tegangan  $\pm$  33V DC.

Pengujian modul *Converter DC* Perangkat ini digunakan sebagai pengganti dari Solar Charger Controler (SCC). Didalam melakukan penelitian penulis berasumsi bahwa dengan menggunakan *module Converter DC* bisa memaksimalkan keluaran panel surya dengan tegangan



DC minimal 28.0 V diubah melalui *Inverter* menjadi tegangan AC 220 V pada jam 08.00 bisa menhidupkan lampu LED 100 Watt.

Perakitan *Prototype Converter DC*, peneliti merakit masing-masing modul mengikuti gambar rancangan. Memilih pengaman sesuai besaran arus yang akan bekerja dalam rangkaian. Besar arus yang dihasilkan dengan susunan paralel untuk dari unit panel surya berkisar 20A DC. Kemudian pemilihan converter *step down* 12 s/d 36V DC 201A sesuai dengan input inverter 12V DC 220V AC. Karena di dalam uji coba rancangan ada dua kondisi yaitu kondisi 1 menggunakan satu inverter 1000 watt dan kondisi 2 menggunakan dua inverter 1000 watt. Karena ada dua kali uji coba digunakan sakelar TPDT (*Three Pole Double True*) sebagai pemilih uji coba 1 dan 2. Serta di dalam rancangan dilengkapi alat ukur masing-masing tegangan dan arus yang bekerja pada rangkaian *prototype converter DC*

Pengujian *prototype converter DC*, panel surya yang ukur dengan seperangkat ukur digital, dengan output panel surya berkisar pada angkat 30.0 s/d 34,7 V DC. Hal ini terjadi pukul 08.00 s/d 16.30 WIB dan kondisi cuaca.

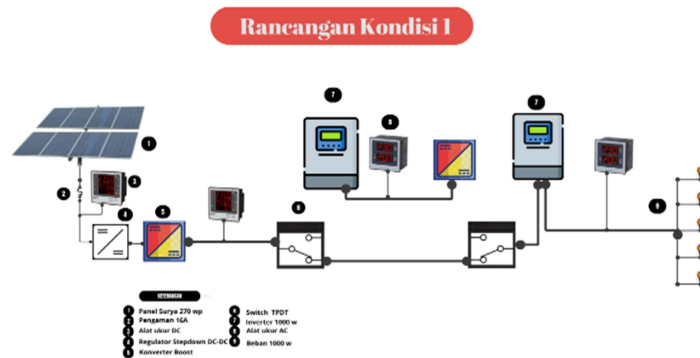
Pengujian *module converter DC*, peneliti menggunakan 2 *type* yaitu *step down* dengan spesifikasi input tegangan berkisar 4 s/d 40V DC mempunyai *output* 12 s.d 36V DC dan *step up boost converter* dengan spesifikasi *input voltage* 9 s/d 60V DC menghasilkan *output voltage* 10 s/d 120V DC dengan maksimal arus 12 A. Pengujian *inverter*, untuk mendapatkan hasil ukur dari in dan output tegangan pada inverter 1 dan inverter 2, rangkaian *prototype converter DC* dilaksanakan pada waktu siang mulai jam 08.00. Keadaan *output* panel surya dengan tegangan  $\pm 33.0V$  DC pada cuaca cerah bisa mencapai 34.9V DC. Input diturunkan karena tegangan inverter 12 s/d 36V DC melalui *step down converter DC*. *Output* 12V DC akan dipertahankan melalui *step up converter boost*. *Output converter DC boost* sebagai *input inverter* 1 (Kondisi 1). Untuk kondisi 2 dengan dua unit inverter, sebagai *input inverter* 2 diperoleh dari *output inverter* 1 output 220V AC kemudian mengalami proses perubahan menjadi 12V DC untuk input inverter 2. Kedua inverter bekerja sesuai harapan.

Pengambilan data *prototype converter DC*, Kondisi satu (1) seperti dalam rancangan yaitu tegangan keluaran (*output*) dari surya panel yang masih arus searah (DC) sebesar  $\pm 33$  V DC, akan diturunkan pada *Stepdown Converter* sesuai tegangan input pada *inverter* 1 atau *inverter* 2 yaitu sebesar  $\pm 12$  V DC. Dan keluaran dari inverter 1 adalah tegangan bolak balik (AC) untuk memberi tegangan listrik untuk beban (Lampu LED). Dan beban lampu yang terpasang di dalam penelitian ini @ 50 watt sebanyak 4 buah, dan satu buah 40 watt jadi total beban adalah 240 watt. Dan hasil uji rancangan pada *prototype Converter DC* berhasil Tegangan  $\pm 220V$  AC, Arus  $\pm 0,2A$  AC.

Kondisi dua (2) seperti dalam rancangan yaitu tegangan keluaran (*output*) surya panel masih merupakan arus searah (DC) sebesar  $\pm 33$  V DC, akan diturunkan pada *Stepdown Converter* sesuai tegangan input pada inverter 1 yaitu sebesar  $\pm 12$  V DC. Dan keluaran dari inverter 1 adalah tegangan bolak balik (AC) untuk memberi tegangan listrik pada Regulator Tegangan (*Power Supply*). Fungsi dari regulator tegangan ini adalah sebagai *input* tegangan listrik *Inverter* 2 yang merubah tegangan AC  $\pm 220$  V menjadi tegangan DC  $\pm 12$  V. Dan hasil pengujian kondisi 2 yang menggunakan dua buah inverter berhasil menhidupkan beban (Lampu LED). Dan beban lampu yang terpasang di dalam penelitian ini @ 50 watt sebanyak  $\pm 4$  buah, jadi total beban adalah 200 watt. Dalam percobaan kondisi 2 Tegangan yang dihasilkan  $\pm 222$  V AC, Arus beban  $\pm 0,2A$ . Pengambilan data penelitian dilaksanakan pada waktu dari pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 16.00 WIB lokasi di ruang lab. RKL Program Studi Teknik Listrik Bandara selama

30 hari penelitian. Setiap pengambilan data di kelompokkan menjadi empat kelompok dan masing-masing kelompok uji coba menerapkan pemakaian sumber listrik dari panel surya yaitu 270 wp (1 PV), 540 wp (2 PV), 810 wp (3 PV) dan 1080 wp (4 PV). Dengan melihat uji coba dan hasil perolehan data *prototype converter DC* kondisi menggunakan satu (1) *inverter* dapat lebih baik unjuk kerja dibandingkan kondisi dua (2) *inverter*. Selain itu juga spesifikasi *inverter* dengan data 12V DC 1000 watt yang digunakan uji coba dalam penelitian sangat berpengaruh untuk memaksimalkan keluaran energi listrik dari panel surya dengan tegangan berkisar  $\pm 33,0V$  DC. Dan beban yang dapat digunakan sebesar 30% atau 250 watt dari maksimal panel surya 1080 wp. Untuk memaksimalkan energi listrik dari *prototype DC* pada panel surya 1000 watt maka perlu di gunakan inverter 36V 1000 watt.

Pengujian *Inverter 1 dan Inverter 2*, mempergunakan dua (2) unit inverter yang disusun adalah kondisi satu (1) menggunakan inverter sebanyak satu (1) unit :



Gambar 5. Rancangan Kondisi 1

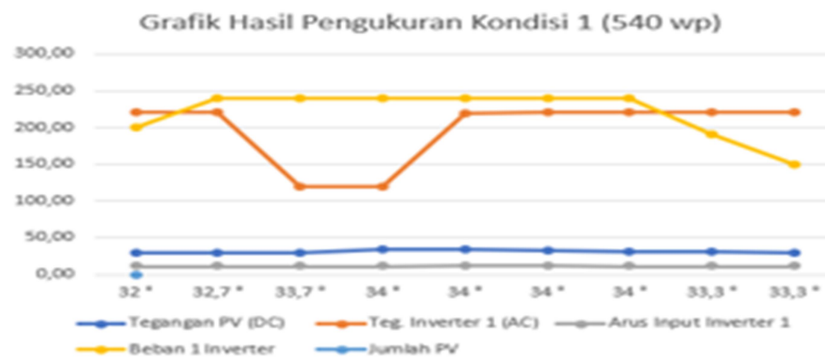
Tabel 2. Hasil Pengukuran Prototype DC Converter dengan 1 Inverter

No	Suhu	Jam	Tegangan PV (DC)	Tegangan Inverter 1 (AC)	Arus Input Inverter 1 (DC)	Beban 1 Inverter (AC)	Jumlah PV
1	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	200	1 buah x 270 wp
	32.7 <sup>0</sup>	09.00	29.90	221	11.9	240	
	33.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	11.00	34.30	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	12.00	33.50	220	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	190	
	34 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	150	
2	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	200	2 buah x 270 wp
	32.7 <sup>0</sup>	09.00	29.90	221	11.9	240	
	33.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	11.00	34.30	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	12.00	33.50	220	12.0	240	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	12.0	240	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	240	
	33.3 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	190	
	33.3 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	150	

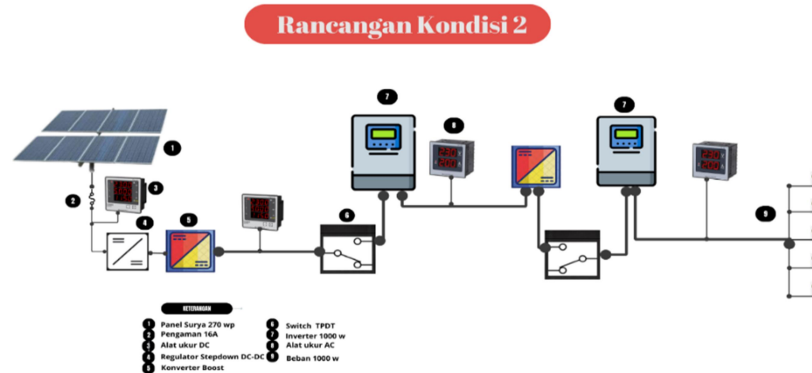
No	Suhu	Jam	Tegangan PV (DC)	Tegangan Inverter 1 (AC)	Arus Input Inverter 1 (DC)	Beban 1 Inverter (AC)	Jumlah PV
3	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	200	3 buah x 270 wp
	32.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	240	
	32.7 <sup>0</sup>	11.00	29.90	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	12.00	34.30	220	12.0	240	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	12.0	240	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	240	
	33.3 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	190	
	33.3 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	150	
4	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	200	4 buah x 270 wp
	32.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	240	
	32.7 <sup>0</sup>	11.00	29.90	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	12.00	34.30	220	12.0	240	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	12.0	240	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	240	
	33.3 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	190	
	33.3 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	150	

Tabel 3. Data dan Grafik kondisi 1

No	Suhu	Jam	Tegangan PV (DC)	Tegangan Inverter 1 (AC)	Arus Input Inverter 1 (DC)	Beban 1 Inverter (AC)	Jumlah PV
1	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	200	2 buah x 270 wp
	32.7 <sup>0</sup>	09.00	29.90	221	11.9	240	
	33.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	11.00	34.30	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	12.00	33.50	220	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	190	
	34 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	150	



Kondisi dua (2) menggunakan dua (2) unit *Converter Boost* Regulator Tegangan, digunakan untuk menaikkan tegangan sumber dimana tegangan keluaran akan menjadi lebih tinggi nilai tegangan. Tegangan keluaran konverter dapat dipertahankan pada nilai tertentu dengan menyesuaikan siklus kerja PWM yang digunakan untuk mengganti MOSFET di dalam konverter.



Gambar 6. Rancangan Prototype DC Converter (Kondisi 2)

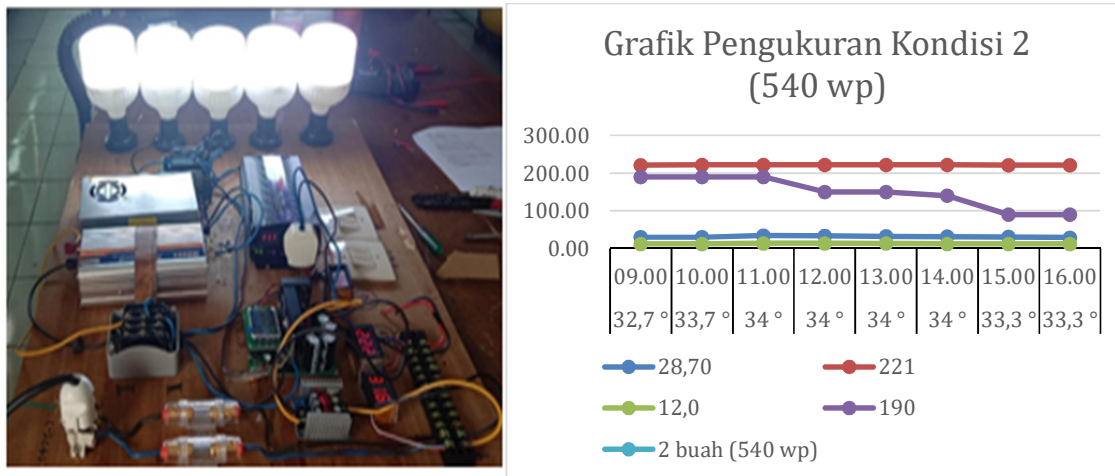
Tabel 4. Hasil Pengukuran Prototype DC Converter dengan 2 Inverter

No	Suhu	Jam	Tegangan PV (DC)	Tegangan Inverter 1 (AC)	Arus Input Inverter 1 (DC)	Beban 1 Inverter (AC)	Jumlah PV
1	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	190	1 buah x 270 wp
	32.7 <sup>0</sup>	09.00	29.90	221	11.9	190	
	33.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	190	
	34 <sup>0</sup>	11.00	34.30	119.9	11.9	190	
	34 <sup>0</sup>	12.00	33.50	220	11.9	150	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	11.9	150	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	140	
	34 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	90	
	34 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	90	
2	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	190	2 buah x 270 wp
	32.7 <sup>0</sup>	09.00	29.90	221	11.9	190	
	33.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	190	
	34 <sup>0</sup>	11.00	34.30	119.9	11.9	190	
	34 <sup>0</sup>	12.00	33.50	220	12.0	150	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	12.0	150	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	140	
	33.3 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	90	
	33.3 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	90	
3	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	190	3 buah x 270 wp
	32.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	190	
	32.7 <sup>0</sup>	11.00	29.90	119.9	11.9	190	
	34 <sup>0</sup>	12.00	34.30	220	12.0	190	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	12.0	150	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	150	

No	Suhu	Jam	Tegangan PV (DC)	Tegangan Inverter 1 (AC)	Arus Input Inverter 1 (DC)	Beban 1 Inverter (AC)	Jumlah PV
4	33.3 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	140	4 buah x 270 wp
	33.3 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	90	
	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	190	
	32.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	190	
	32.7 <sup>0</sup>	11.00	29.90	119.9	11.9	190	
	34 <sup>0</sup>	12.00	34.30	220	12.0	190	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	12.0	150	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	150	
	33.3 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	140	
	33.3 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	90	

Tabel 5. Data dan Grafik kondisi 2

No	Suhu	Jam	Tegangan PV (DC)	Tegangan Inverter 1 (AC)	Arus Input Inverter 1 (DC)	Beban 1 Inverter (AC)	Jumlah PV
1	32 <sup>0</sup>	08.00	28.70	221	11.9	200	2 buah x 270 wp
	32.7 <sup>0</sup>	09.00	29.90	221	11.9	240	
	33.7 <sup>0</sup>	10.00	29.90	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	11.00	34.30	119.9	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	12.00	33.50	220	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	13.00	32.50	221	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	14.00	31.70	221	11.9	240	
	34 <sup>0</sup>	15.00	30.70	221	11.9	190	
	34 <sup>0</sup>	16.00	28.70	221	11.9	150	



Gambar 7. Pengambilan data kondisi 1 dan kondisi 2

Efisiensi Pemakaian *Prototype Converter DC PLTS* 1000 watt :

Golongan tarif yang rumah non subsidi dengan pemakaian tenaga listrik 1.300 watt adalah sebesar Rp. 1.444,70/kWH

Maka daya terpakai = 240 watt/1000 = 0,24 kWh

Dimana daya yang dihasilkan dari uji coba menggunakan prototype converter DC selama rata-rata 7 jam dengan daya PLTS 1000 wp adalah :

$$\text{Daya} = 0.24 \text{ kWh} \times 7 \text{ Jam} \times \text{Rp} \frac{1.444.70}{\text{kWh}} \times 30 \text{ hari}$$

= Rp. 72.812,88,-

Jadi penghematan tagihan listrik dengan pemakaian *prototype converter* DC adalah sebesar

= Rp. 72.812,88,-

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis alat, serta fitur-fitur alat pada judul” Penggunaan *Prototype DC Converter* Untuk Meningkatkan Kinerja Panel Surya 1000 watt di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug” dapat meningkatkan efektivitas pemakai energi terbarukan diketahui dengan, pengujian *Prototype DC Converter* dengan daya terpasang dalam uji coba penelitian sebesar 1080 wp keluaran panel surya  $\pm 33$  V DC dengan kapasitas inverter 12V DC 1000 watt energi listrik dapat dipergunakan dari pukul 08.00 s/d 16.00 WIB ,Dari uji coba penelitian menerapkan dua kondisi, dimana pada kondisi 1 dengan menggunakan satu *inverter* jauh lebih baik dibandingkan pada saat kondisi 2 menggunakan dua inverter unjuk kerja rancangan pemakaian *converter* DC untuk supply ke beban 240 watt, Dengan menggunakan *prototype converter DC* ini, maka efisiensi dari pemakaian PLTS adalah sebesar 30% dikarenakan menggunakan inverter 12V DC 1000 watt, dengan penghematan sebesar 72.812,88,- dalam waktu satu bulan. Dan *prototype converter* DC meningkatkan efisiensi energi surya, sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dan ramah lingkungan. Dapat mengurangi penggunaan bahan bakar minyak bumi dan tidak menghasilkan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abit Duka, E. T., Setiawan, I. N., & Ibi Weking, A. (2018). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung. *Jurnal SPEKTRUM*, 5(2), 67.
- Alifyanti, D. F., Tambunan, J. M., Jurusan Teknik Elektro, S. Plnj., & Jurusan Teknik Elektro, STT PLN Jakarta, J. co. (2018). Pengaturan tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya(PLTS) 1000 watt. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 1(1), 79–95.
- Assyidiq, M. A., Winardi, B., & Andromeda, T. (2017). Perancangan Boost Converter Menggunakan Voltage Feedback Pada Panel Surya. *Transient*, 6(3), 404.
- Boxwell, M. (2012). *Solar electricity handbook*. GreenstreamPublishing 12 Poplar Grove, Ryton on Dunsmore, Warwickshire, CV8 3Qe, United Kingdom.
- Chamdareno, P. G., & Hilal, H. (2018). Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTD-PLTS di Pulau Tunda Serang Banten. *RESISTOR (ElektRonika KEndali TelekomunikaSI Tenaga LiSTrik KOmputeR)*, 1(1), 35.
- Fuaddin, D., & Daud, A. (2021). Rancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya on-grid kapasitas 20 kWp untuk residensial. *Jurnal Teknik Energi*, 10(1), 53–57.
- Halim, L., & Oetomo. (2020). Perancangan dan implementasi awal solar inverter untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya off grid. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 31–38.

- Hani, S., & Nugroho, I. A. (2021). Analisa Penggunaan Boost Converter Terhadap Daya Output Panel Surya Pada Warning Light. *Jurnal Elektrikal*, 8(2), 28–36.
- Iman, M., & Pambayun, A. P. (2018). Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap untuk keperluan pada rumah tinggal studi kasus: rumah tinggal di jalan swadaya, Depok. *Trave*.
- Ismail, I., & Zakri, A. A. (2020). *Perancangan boost konverter paada sistem microgrid bersumber solar sel*. 7, 4–5.
- Jabbar, A. H., & Syafitri, N. (2021). *Perancangan Boost Converter untuk Meningkatkan Tegangan Dari 12V ke 100-250V*. 2022–2023.
- Perdana, Y., Wardiah, I., Yohanes, E., Negeri Banjarmasin, P., Id, Y. P. A., & Id, I. A. (2018). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya ongrid 5500 watt di rumah kost akademi. *Prosiding SNRT (Seminar Nasional Riset Terapan) Politeknik*, 5662(November), 1–8.
- Perdana, Y., Wardiah, I., & Yohanes, E. (2018). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Ongrid 5500 Watt Di Rumah Kost Akademi. In *Seminar Nasional Riset Terapan 3*, A63-A70.
- Pradiyo, J., Winardi, B., & Nugroh, A. (2015). Evaluasi dan optimasi sistem off grid Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Plth) Bayu Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta. *Transient, TRANSIENT*,(03), 557–564.
- Putri, R., Meliala, S., & Zuraida, Z. (2020). Penerapan instalasi Panel Surya off grid menuju energi mandiri di yayasan pendidikan islam dayah miftahul janna. *JET (Journal of Electrical ...)*, 5(3), 117–120.
- Ramadhan, A. I., Diniardi, E., & Mukti, S. H. (2016). Analisis desain sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya kapasitas 50 WP. *Teknik*, 37 (2), 2016, 59-63, 11(2), 61–78.
- Rosalina, & Sinduningrum, E. (2019). Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di lahan pertanian terpadu Ciseeng Parung-Bogor. *Seminar Nasional Teknoka*, 4(2502), 99–109.
- Saefuddin, R. F., Winardi, B., & Sudjadi, S. (2021). Perancangan Plts Hybrid Dengan Bidirectional Dc-Dc Converter Di Gedung Ict Universitas Diponegoro Menggunakan Software Matlab Simulink. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(2), 390–398.
- Salman, R. (2013). Analisis perencanaan penggunaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) untuk perumahan (Solar Home System). *Majalah Ilmiah Bina Teknik*, 1(1), 46–51.
- Sugiyono, P. D. (2013). *Metodo penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D* (19th ed.). Alfabeta Bandung.
- Sukmajati, S., & Hafidz, M. (2015). Perancangan dan analisis pembangkit listrik tenaga surya kapasitas 10 MW on grid di Yogyakarta. *Energi & Kelistrikan*, 7(1), 49-63.
- Suprihartini, Y., Taryana, Andiyan, Cakranegara, P. A., & Dwiwandana, D. (2023). Utilization of Motion Sensors to Reduce Electricity Consumption in Buildings. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 14(2), 94–108.
- Wurfel, P., & Wurfel, U. (2016). *Physics of solar cells* (F. Formgeber & M. Mannheim (eds.); 3rd ed.). © 2016 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany All.