

# PENGUKURAN ENERGI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ON-GRID BIDIRECTION 3KW 1 PHASE

**Andrew Joewono<sup>1\*</sup>, Rasional Sitepu<sup>2</sup>, Peter RA<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

<sup>3</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Email: \*andrew\_sby@ukwms.ac.id

## ABSTRAK

Sinar matahari merupakan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik. Sistem tenaga fotovoltaik (PLTS) harus dirancang untuk memenuhi kebutuhan energi listrik kehidupan, tetapi pasokan yang besar membutuhkan nilai investasi yang tinggi, sehingga sistem pembangkit listrik merupakan penyediaan energi listrik yang berkelanjutan.

Untuk membangun sistem yang lebih efisien, perlu dibangun dengan sistem komunal, untuk jumlah penduduk yang sedikit, dibuat sistem pembangkit listrik 3000 watt dan akan didistribusikan langsung ke pengguna, selanjutnya untuk area yang lebih besar dibuat sistem sebesar 5000 watt yang akan didistribusikan langsung ke pengguna, dan di interkoneksi antar pembangkit dengan prinsip kontrol beban.

PLTS yang dirancang menggunakan sistem on-grid bidirection, energi listrik hasil konversi dari panel surya langsung tersalurkan kepada pemakai dan tersimpan pada sistem backup baterai, (energi yang dihasilkan disiang hari terpakai langsung dan tersimpan didalam baterai, untuk dapat digunakan di waktu matahari sudah tidak mempunyai energi), untuk menghasilkan daya maksimum 3000 watt, digunakan panel surya 450wp 8 buah, inverter dengan mode on atau off grid sistem 48 volt, dan baterai backup sebanyak 4 buah 12V 200 Ah.

Dari hasil pengukuran didapat sistem PLTS akan mulai melakukan konversi arus DC menjadi AC dengan nilai Iradiansi kisaran, 356 hingga 1258 W/m<sup>2</sup>, menghasilkan energi arus AC ongrid, maksimum 2297 watt, serta melakukan charging battery backup dengan arus DC, maksimum 14,3 A, sehingga sistem PLTS ongrid backup (bidirection) ini dapat melakukan fungsinya melakukan konversi arus DC menjadi AC dan menyalurkan secara langsung pada jaringan listrik (grid), dan melakukan backup energi sewaktu sinar matahari sudah tidak mempunyai energi.

**Kata Kunci :** Pembangkit Listrik Tenaga Surya, On-grid/backup

## ABSTRACT

Sunlight is a renewable energy that can be used as electrical energy. Photovoltaic power systems (PLTS) must be designed to meet the electrical energy needs of life, but a large supply requires a high investment value, so that the power generation system is a sustainable supply of electrical energy.

To build a more efficient system, it is necessary to build a communal system, for a small population, a 3000 watt power generation system is made, and will be distributed directly to users, then for a larger area a system of 5000 watts is made which will be distributed directly to users, and interconnected between generators with the principle of load control.

PLTS which is designed using an on-grid bidirection system, Electrical energy from the conversion from solar panels is directly channeled to the user and stored in a battery backup system. (the energy generated during the day is used directly and stored in the battery, to be used when the sun has no energy), To produce a maximum power of 3000

watts, 8 units of 450wp solar panels are used, an inverter with on or off grid system 48 volt mode, and 4 backup batteries of 12V 200 Ah.

*From the measurement results, the PLTS system will start to convert DC current to AC with an irradiance value of 356 to 1258 W/m<sup>2</sup>, produces ongrid AC current energy, a maximum of 2297 watts, and performs battery backup charging with DC current, a maximum of 14.3 A, so that this ongrid backup (bidirection) PLTS system can perform its function of converting DC current to AC and channeling it directly to the electricity network (grid), and performing energy backups when sunlight has no energy.*

*Keywords: Solar Power Plant, On-grid/backup*

## PENDAHULUAN

Energi matahari bersifat kontinyu dan jumlah yang besar mendorong manusia untuk memanfaatkannya sebagai sumber energi baru selain bahan bakar minyak bumi (Iskandar, Purwadi, Rizqiawan, & Heryana, 2016). Pemanfaatan energi matahari dinilai sebagai terobosan baru, karena potensi energi matahari merupakan sumber energi yang sangat besar serta tidak memberi dampak negatif terhadap lingkungan (Heri, 2012).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sudah banyak dikembangkan dan digunakan oleh negara maju dan berkembang sebagai sumber energi alternatif selain minyak bumi, seperti Jerman, Cina, Amerika, Jepang dan lain-lain (Breeze, 2005), bahkan kontribusi sumber energi dari PLTS di Eropa dapat mencapai 42 TWh di tahun 2020 (Freris, 2008). Indonesia sebagai negara tropis, tentunya dianugerahi energi matahari yang sangat banyak. Namun, cahaya matahari ini belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai sumber energi. Padahal potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 KWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 Giga Wp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 Mega Wp (esdm.id)

Pemerataan distribusi energi listrik perlu dipikirkan untuk pemenuhan kebutuhannya bagi kehidupan, salah satu cara dengan membuat sistem pembangkit listrik tenaga surya ongrid-bidirection komunal (Andrew, Rasional, & Peter, 2015). Pemenuhan kebutuhan listrik untuk daerah yang belum terjangkau, perlu dilakukan inovasi dengan membuat sistem pembangkit listrik tenaga surya ini dengan pola komunal, sistem on-grid/backup (terpakai langsung) dan terbackup dalam baterai (terpakai disaat matahari tidak berenergi), serta sewaktu pemakaian energi listrik di distrik mengalami kelebihan atau kekurangan ditanggulangi dengan membuat sistem interkoneksi untuk saling memenuhi kebutuhan listrik dengan pengendalian beban yang terpakai. Rancangan yang dikembangkan adalah membuat sistem pembangkit tenaga surya secara langsung terpakai (on-grid) dan tersimpan (backup) yang digunakan secara bersama-sama (komunal) dan terkoneksi antar sistem pembangkit dengan prinsip pengendalian beban terpakai.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ongrid backup bekerja dengan mengubah energi surya menjadi energi listrik secara langsung menggunakan photovoltaic array dengan efek photoelectric, listrik yang dihasilkan merupakan merupakan listrik arus searah (DC), yang akan di ubah menjadi arus bolak-balik (AC) dan disearahkan menjadi arus searah (DC) untuk di salurkan ke baterai untuk melakukan charging baterai, serta menyalurkan arus bolak-balik (AC) secara langsung ke peralatan yang memerlukan energi listrik AC, sehingga fungsi pemenuhan energi dari konsumen dapat dilakukan dan melakukan backup energi (sistem PLTS ongrid backup (bidirection), yang akan digunakan sewaktu sinar matahari sudah tidak mempunyai energi yang cukup.

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, permasalahan pokok dalam pembuatan sistem PLTS ini, perlu dilakukan analisa kebutuhan komponen apa saja pada sistem PLTS terhubung dengan jaringan PLN 220V/50Hz, serta pengukuran energi yang dihasilkan.

Perencanaan ini meliputi perhitungan pada peralatan untuk menentukan peralatan PLTS diantaranya panel surya, baterai, serta Inverter bidirection yang akan digunakan.

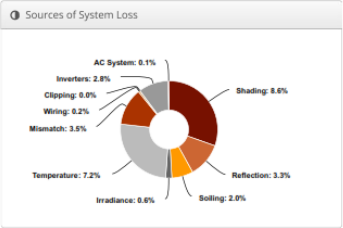
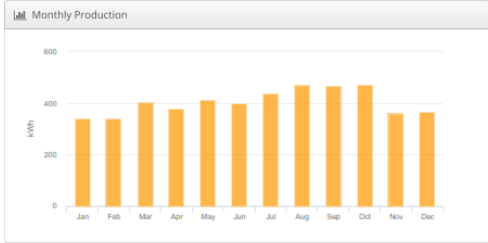
Tabel 1. Informasi Data Tahunan

| Bulan | Solar Insolation (kWh/m <sup>2</sup> /hari) | Rata-rata temperatur (oC) | Kecepatan angin (m/det) |
|-------|---------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Jan   | 4,18                                        | 24,6                      | 3,31                    |
| Feb   | 4,25                                        | 24,7                      | 3,33                    |
| Mar   | 4,76                                        | 25                        | 2,66                    |
| Apr   | 4,82                                        | 25,2                      | 3,02                    |
| Mei   | 4,74                                        | 25,2                      | 3,97                    |
| Juni  | 4,58                                        | 24,9                      | 4,34                    |
| Juli  | 4,86                                        | 24,6                      | 5,29                    |
| Agt   | 5,24                                        | 24,8                      | 5,38                    |
| Sep   | 5,56                                        | 24,9                      | 4,94                    |
| Okt   | 5,32                                        | 25                        | 3,71                    |
| Nop   | 4,8                                         | 24,9                      | 3,09                    |
| Des   | 4,63                                        | 24,7                      | 2,69                    |

## METODE PENELITIAN

Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid/Backup (Bidirection), seperti diagram blok perancangan alat seperti pada gambar 1.





| Annual Production                |                                     |                 |         |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------|
|                                  | Description                         | Output          | % Delta |
| Irradiance (kWh/m <sup>2</sup> ) | Annual Global Horizontal Irradiance | 1,790.3         |         |
|                                  | POA Irradiance                      | 1,838.7         | 2.7%    |
|                                  | Shaded Irradiance                   | 1,680.9         | -8.6%   |
|                                  | Irradiance after Reflection         | 1,626.2         | -3.3%   |
|                                  | Irradiance after Soiling            | 1,593.7         | -2.0%   |
|                                  | Total Collector Irradiance          | 1,590.8         | -0.2%   |
| Energy (kWh)                     | Nameplate                           | 5,605.1         |         |
|                                  | Output at Irradiance Levels         | 5,572.9         | -0.6%   |
|                                  | Output at Cell Temperature Derate   | 5,170.4         | -7.2%   |
|                                  | Output After Mismatch               | 4,990.0         | -3.5%   |
|                                  | Optimal DC Output                   | 4,981.8         | -0.2%   |
|                                  | Constrained DC Output               | 4,981.8         | 0.0%    |
|                                  | Inverter Output                     | 4,842.3         | -2.8%   |
|                                  | Energy to Grid                      | 4,838.1         | -0.1%   |
| Temperature Metrics              |                                     |                 |         |
|                                  | Avg. Operating Ambient Temp         | 29.4 °C         |         |
|                                  | Avg. Operating Cell Temp            | 37.8 °C         |         |
| Simulation Metrics               |                                     |                 |         |
|                                  |                                     | Operating Hours | 4732    |
|                                  |                                     | Solved Hours    | 4732    |

Condition Set

|                              |                                       |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|---|-------------------|---|---|---|---|---|---|
| Description                  | Condition Set 2                       |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| Weather Dataset              | TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm) |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| Solar Angle Location         | Meteo Lat/Lng                         |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| Transposition Model          | Perez Model                           |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| Temperature Model            | Diffusion Model                       |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| Temperature Model Parameters | Rack Type                             | U <sub>const</sub> |   |                                  |   | U <sub>wind</sub> |   |   |   |   |   |   |
|                              | Fixed Tilt                            | 29                 |   |                                  |   | 0                 |   |   |   |   |   |   |
|                              | Flush Mount                           | 15                 |   |                                  |   | 0                 |   |   |   |   |   |   |
|                              | East-West                             | 29                 |   |                                  |   | 0                 |   |   |   |   |   |   |
|                              | Carport                               | 29                 |   |                                  |   | 0                 |   |   |   |   |   |   |
| Soiling (%)                  | J                                     | F                  | M | A                                | M | J                 | J | A | S | O | N | D |
|                              | 2                                     | 2                  | 2 | 2                                | 2 | 2                 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Irradiation Variance         | 5%                                    |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| Cell Temperature Spread      | 4° C                                  |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| Module Binning Range         | -2.5% to 2.5%                         |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| AC System Derate             | 0.50%                                 |                    |   |                                  |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| Module Characterizations     | Module                                | Uploaded By        |   | Characterization                 |   |                   |   |   |   |   |   |   |
|                              | LR4-72HPH-440M (Longi)                | Folsom Labs        |   | Spec Sheet Characterization, PAN |   |                   |   |   |   |   |   |   |
| Component Characterizations  | Device                                | Uploaded By        |   | Characterization                 |   |                   |   |   |   |   |   |   |
|                              | HYD 3000-ES (Sofar)                   | Folsom Labs        |   | Spec Sheet                       |   |                   |   |   |   |   |   |   |

Components

| Component    | Name                                           | Count          |
|--------------|------------------------------------------------|----------------|
| Inverters    | HYD 3000-ES (Sofar)                            | 1 (3.00 kW)    |
| Transformer  | Primary Side: 380V/220V , Secondary: 380V/220V | 0              |
| AC Home Runs | 1/0 AWG (Aluminum)                             | 1 (1,112.3 ft) |
| Combiners    | 1 input Combiner                               | 1              |
| Strings      | 10 AWG (Copper)                                | 1 (8.4 ft)     |
| Module       | Longi, LR4-72HPH-440M (440W)                   | 8 (3.52 kW)    |

Wiring Zones

| Description | Combiner Poles | String Size | Stringing Strategy |
|-------------|----------------|-------------|--------------------|
| Wiring Zone | 12             | 8-8         | Along Racking      |

Field Segments

| Description     | Racking    | Orientation            | Tilt | Azimuth | Intrarow Spacing | Frame Size | Frames | Modules | Power   |
|-----------------|------------|------------------------|------|---------|------------------|------------|--------|---------|---------|
| Field Segment 1 | Fixed Tilt | Landscape (Horizontal) | 15°  | 0°      | 0.0 ft           | 1x1        | 8      | 8       | 3.52 kW |



## 2. Pemasangan PLTS on-grid/backup dengan inverter bidirection

Pada bagian ini digunakan rangkaian panel surya 450wp, 8 buah, 1 string, serta regulator tegangan konverter perubah tegangan DC yang dihasilkan rangkaian panel surya menjadi tegangan AC, sebagian arus AC dikonversikan menjadi arus DC untuk digunakan mengisi battery backup, serta arus AC akan diteruskan untuk disalurkan kepada pemakai (on-grid), dengan pengendalian daya listrik yang digunakan oleh pemakai.

## 3. Perancangan sistem pengendali beban dengan energi meter

Pada bagian ini dilakukan pengendalian daya beban dengan energi meter, yang memantau energi listrik hasil konversi inverter dari arus DC (panel surya) menjadi energi listrik AC, untuk dapat disalurkan ke pemakaian dengan pembatasan-pembatasan daya listrik yang sudah ditentukan, serta mendeteksi kelebihan energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTS untuk siap memberikan energi listrik secara interkoneksi ke sistem PLTS komunal berikutnya

## 4. Uji beban yang akan disuplai, menggunakan beban resistif kurang lebih 200 watt dengan lama pemakaian 10 jam/hari, dan suplai energi secara langsung pada jaringan.

## 5. Panel surya yang digunakan jenis monokristalin 450wp ( $V_{mp} = 41.5V$ , $I_{mp} = 10.85A$ ) sebanyak 8 buah ( $8 \times 450 \text{ wp} = 3600 \text{ wp}$ , tegangan maksimum input inverter (single string) ( $8 \text{ bh} \times 41.5 \text{ V} = 332 \text{ V}$ ), untuk 1 string dengan $I_{mp} = 10.85 \text{ A}$ ,

## 6. Inverter Ongrid/backup bidirection yang digunakan (data sheet),

Tabel 2. Data Sheet Inverter Ongrid/Backup Bidirection

| PV Input                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Battery                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ac Output                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Max. input power : 3990W;</li> <li>• Max. input voltage : 600Vdc;</li> <li>• Start-up voltage : 120Vdc;</li> <li>• MPPT voltage range : 90Vdc - 580Vdc;</li> <li>• Max. input current : 12A;</li> <li>• PV short circuit current : 15A;</li> <li>• Number of MPPT : 1</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baterai type : Lead Acid baterai;</li> <li>• Rated voltage : 48Vdc;</li> <li>• Voltage range : 42Vdc - 58Vdc;</li> <li>• Baterai type : VRLA AGM maintenance - free baterai;</li> <li>• Baterai capacity : 200 Ah optimized;</li> <li>• Max. charge current : 65 A;</li> <li>• Charging curve : 3-Stage;</li> <li>• Rated discharge power : 3000W;</li> <li>• Max. discharge current : 70A;</li> <li>• Max. discharge efficiency : 50%</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rated output power : 3000W;</li> <li>• Rated output voltage : 220, 230, 240 Vac;</li> <li>• Max output current : 13.7A;</li> <li>• Output AC voltage range : 180 - 276Vac;</li> <li>• Rated output frequency : 44-55 Hz;</li> <li>• Power factor : 1 default (0.8 leading - 0.8 lagging); THD : &lt; 3%]</li> </ul> |

#### 7. Battery backup

Prediksi pemenuhan energi listrik yang diperlukan beban, 200 watt x 10 jam = 2000 Wh

Untuk memenuhi daya yang dibutuhkan, sebesar 2000 watt, maka dibutuhkan :

Perhitungan prediksi

Beban : 2000 watt x 1.5 (faktor pengali beban) = 3000 watt

Baterai : 48 V x 200Ah = 9.600 Wh (pemakaian 80%) = 7.680 Wh

Dari perhitungan diatas, maka terdapat kelebihan daya sebesar 4.680Wh

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran dengan asumsi beban tetap kisaran 200watt dengan waktu hidup 10 jam, dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Pengukuran Parameter PLTS O/B

| Jam   | Iradiansi (w/m <sup>2</sup> ) | Panel Surya  |          | Inverter (ongrid) |          | Energi (watt) | Battery (backup) |          |
|-------|-------------------------------|--------------|----------|-------------------|----------|---------------|------------------|----------|
|       |                               | Tegangan (V) | Arus (I) | Tegangan (V)      | Arus (I) |               | Tegangan (V)     | Arus (I) |
| 08.00 | 460                           | 224          | 6        | 226               | 1.80     | 84            | 53,8             | 5,71(-)  |
| 08.30 | 708                           | 297          | 9        | 225               | 1,71     | 82            | 54,3             | 8,36(-)  |
| 09.00 | 820                           | 230          | 9        | 225               | 1,72     | 83            | 53,8             | 8,40(-)  |
| 09.30 | 933                           | 232          | 9        | 226               | 1,75     | 84            | 54,2             | 8,54(-)  |
| Jam   | Iradiansi (w/m <sup>2</sup> ) | Panel Surya  |          | Inverter (ongrid) |          | Energi (watt) | Battery (backup) |          |
|       |                               | Tegangan (V) | Arus (I) | Tegangan (V)      | Arus (I) |               | Tegangan (V)     | Arus (I) |

|       |      |     |    |     |       |      |      |         |
|-------|------|-----|----|-----|-------|------|------|---------|
| 10.00 | 1200 | 232 | 14 | 281 | 4,99  | 1120 | 58,8 | 14,3(-) |
| 10.30 | 1220 | 254 | 10 | 235 | 5,32  | 1120 | 58,8 | 10,2(-) |
| 11.00 | 1234 | 267 | 8  | 234 | 5,45  | 1118 | 58,6 | 8,45(-) |
| 11.30 | 1257 | 269 | 4  | 236 | 9,15  | 1110 | 56,2 | 3,72(-) |
| 12.00 | 1258 | 270 | 4  | 232 | 9,25  | 2000 | 56,4 | 3,62(-) |
| 12.30 | 1197 | 275 | 2  | 238 | 9,59  | 2001 | 56,4 | 2,53(-) |
| 13.00 | 1212 | 284 | 2  | 234 | 10,00 | 2263 | 56,2 | 1,80(-) |
| 13.30 | 1068 | 298 | 2  | 234 | 9,61  | 2317 | 56,3 | 1,29(-) |
| 14.00 | 980  | 281 | 2  | 234 | 9,52  | 2297 | 56,2 | 1,00(-) |
| 14.30 | 840  | 210 | 2  | 232 | 9,33  | 2240 | 56,3 | 0,82(-) |
| 15.00 | 770  | 207 | 1  | 232 | 4,52  | 2223 | 56,4 | 0,78(-) |
| 15.30 | 585  | 312 | 1  | 229 | 2,67  | 984  | 56,3 | 0,75(-) |
| 16.00 | 356  | 324 | 1  | 230 | 2,64  | 214  | 56,2 | 0,69(-) |
| 16.30 | 42   | 120 | 0  | 230 | 1,87  | 193  | 53,8 | 0,5(+)  |
| 17.00 | 30   | 90  | 0  | 230 | 0,07  | 186  | 53,7 | 4,60(+) |
| 17.30 | 10   | 60  | 0  | 230 | 0,07  | 187  | 52,8 | 4,60(+) |
| 18.00 | 0    | 0   | 0  | 230 | 0,07  | 187  | 52,7 | 4,61(+) |
| 18.30 | 0    | 0   | 0  | 230 | 0,07  | 186  | 53,2 | 4,62(+) |
| 19.00 | 0    | 0   | 0  | 230 | 0,07  | 189  | 53,0 | 4,59(+) |
| 19.30 | 0    | 0   | 0  | 230 | 0,07  | 185  | 54,0 | 4,57(+) |
| 20.00 | 0    | 0   | 0  | 230 | 0,07  | 186  | 53,4 | 4,56(+) |

Data terukur memperlihatkan sistem PLTS menghasilkan energi listrik dengan pembagian sistem kerja, a. sewaktu sinar matahari sudah mempunyai energi (terlihat pada kolom Iradiansi), maka inverter akan mengkonversikan arus DC menjadi arus AC, melakukan charging pada battery backup tanda pengukuran (-), serta menyalurkan energi listrik ke saluran listrik PLN (grid), b. sewaktu sinar matahari sudah tidak mempunyai energi, maka arus DC dari battery, tanda pengukuran (+), akan tersalurkan pada inverter untuk dikonversikan menjadi arus AC dan menyalurkan energi listrik ke saluran pemakai (konsumen)

## KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran didapat sistem PLTS akan mulai melakukan konversi arus DC menjadi AC dengan nilai Iradiansi kisaran, 356 hingga 1258 W/m<sup>2</sup>, menghasilkan energi arus AC ongrid, maksimum 2297 watt, serta melakukan charging battery backup dengan arus DC, maksimum 14,3 A, sehingga sistem PLTS ongrid backup (bidirection) ini dapat melakukan fungsinya melakukan konversi arus DC menjadi AC dan menyalurkan secara langsung pada jaringan listrik (grid), dan melakukan backup energi sewaktu sinar matahari sudah tidak mempunyai energi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada,

- Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputi Bidang Penguatan Riset Dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan, Riset Dan Teknologi, pendanaan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT)
- Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, sebagai Perguruan Tinggi induk

## DAFTAR PUSTAKA

- Andrew, J., Rasional, S., & Peter, R. (2015). Perancangan Sistem Elektrik tenaga hybrid untuk pemfilteran air tanah. *Seminar Nasional Energi Telekomunikasi dan Otomasi SNETO 2015*. Bandung: Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung.
- Angelina, E. T., & Andrew, J. (2011). Sumber Energi Listrik dengan Sistem Hybrid (Solar Panel dan Jaringan Listrik PLN). *Jurnal Widya Teknik*.
- DESDM. (2007). *PLN Targetkan Pemakaian Energi Listrik Terbarukan 10 %*. Retrieved Januari 13, 2019, from Departemen Energi dan Sumber Daya Manusia: <http://www.esdm.go.id/berita/listrik/39-listrik/129-pln-targetkan-pemakaian-energi-listrik-terbarukan-10.html>
- Filman. (2014, April 15). *Water Treatment*. Retrieved Januari 13, 2019, from filter-penjernih-air: <http://filter-penjernih-air.7pilar.net>
- Hasnawiya, & Hasan. (2012). PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI PULAU SAUGI. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JR TK)*.
- LEMIGAS. (2013, April 9). *prdkpenelitian-264-.html*. Retrieved Januari 13, 2019, from lemigas.esdm: <http://www.lemigas.esdm.go.id/id/prdkpenelitian-264-.html>
- Menlh/media. (2014, April 13). *ringkasan-berita-media-massa-ii-699*. Retrieved Januari 13, 2019, from www.menlh.go.id: <http://www.menlh.go.id/ringkasan-berita-media-massa-ii-699>
- Iskandar, H. R., Rizqiawan, A., & Heryana, N., (2015). Perhitungan dan Penentuan Ukuran Kabel DC untuk Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya. In *Seminar Nasional etenagalistrikan dan Aplikasinya (SENKA)*.
- Heri, J. (2012). Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Solar Cell Kapasitas 50 WP. *Engineering*, 4, No 1, 47–55.
- Breeze, P. (2005). *Power Generation Technologies. Biomass CHP Technology*.  
<https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia>, diakses 20 September 2022