



ANALISIS MODE OPERASI *OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER SYSTEM* TERHADAP BEBERAPA VARIASI PEMBEBANAN

Arifin Wibisono^{1*}, Faizal Bukhori², Leonardus Heru Pratomo³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Univeritas Katolik Soegijapranata, Jl. Pawiyatan Luhur IV Semarang

*E-mail: arifin@unika.ac.id

ABSTRAK

Paper ini membahas tentang analisis mode operasi off-grid PV solar power system terhadap beberapa variasi pembebanan, didalamnya akan membahas tentang skema dari Off-grid PV solar power system, macam-macam mode operasinya, serta arah aliran arus dari berbagai variasi beban. Cara kerjanya adalah, PV mengkonversi energi matahari menjadi listrik DC dan menyimpan energi tersebut kedalam baterai dan menyalurkannya pada beban. Arah aliran arus pada sistem tergantung pada variasi pembebanan dan kondisi sumber. Tujuan dari penelitian tentang analisis mode operasi off-grid PV solar power system terhadap beberapa variasi pembebanan ini adalah memberi penjelasan serta pemahaman tentang beberapa mode operasi dan arah arus pada off-grid PV solar power systems dalam beberapa pembebanan, Hasil penelitian ini berupa arah aliran arus dan beberapa mode operasi serta memberikan arahan untuk penelitian masa depan tentang masalah dalam perencanaan systems tersebut.

Kata kunci: *Off-grid, PV solar power system, mode operasi, aliran arus, pembebanan*

1. PENDAHULUAN

Di masa sekarang kebutuhan energi listrik menjadi kebutuhan pokok manusia, namun meningkatnya kebutuhan menyebabkan berkurangnya sumber daya tersebut, ini akan meningkatkan kesadaran manusia untuk menemukan sumber daya alternatif lain, salah satunya *off-grid* PV solar power system, alat ini mampu mengkonversi energi matahari dan menjadikannya energi listrik. Yang dimaksud dengan sistem tenaga *off-grid* adalah sistem itu tidak terhubung ke jaringan listrik dan beroperasi secara mandiri dari grid. Sistem tenaga *off-grid* digunakan sebagai sumber tenaga di mana koneksi dari PV masuk kedalam baterai diteruskan ke beban, system ini merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan saat ini dengan pemasangan yang meningkat pesat kapasitas di seluruh dunia.

Beban yang terpasang hanya mengandung elemen linier berupa resistor, induktor dan kapasitor maka arus akan sebanding dengan tegangan sumber dan frekuensinya sama. Dalam lapangan sering menjumpai penggunaan beban yang mempengaruhi hubungan dari tegangan dan arus. Sekarang proses pensaklaran menjadi salah satu ketidaklinier tersebut. Penggunaan beban yang bersifat resistif menyebabkan arus sebanding dengan tegangan sumber sedang beban bersifat induktif/kapasitif berakibat bergesernya fasa. Beban resistif contohnya seperti seterika, lampu pijar dan alat rumah tangga yang bersifat pemanas, untuk beban induktif bisanya seperti blender, pompa air juga alat yang mengkonversi energi listrik menjadi gerak, sedangkan beban kapasitif ini biasanya berada di industri. Arus listrik sama seperti air mengalir dari tempat tinggi ke rendah dan akan berkumpul di tempat yang tidak memiliki perbedaan ketinggian. Begitu juga dengan listrik. Listrik akan mengalir dari tempat yang potensialnya tinggi ke tempat yang potensialnya lebih rendah. Jika air mengalir, jelas bahwa media yang mengalir adalah air. Lalu bagaimana dengan arus listrik, medium apa yang mengalir?, Arus listrik adalah salah satu dari tujuh satuan dasar dalam satuan internasional Satuan internasional untuk arus listrik adalah Ampere (A). Secara formal, Ampere didefinisikan sebagai arus konstan yang, jika dipertahankan, akan menghasilkan gaya 2×10^{-7} Newton/meter antara dua konduktor lurus sejajar, dengan luas penampang yang dapat diabaikan, terpisah 1 meter dalam ruang hampa.

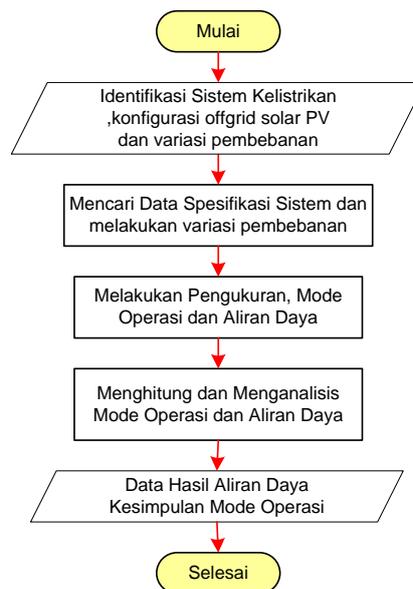
Sel surya yang mendapat penyinaran sinar matahari merupakan salah satu sumber energi yang sangat menjanjikan. Dalam keadaan puncak atau saat posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan sel surya seluas satu meter persegi akan mampu menghasilkan energy listrik 900 hingga 1000 Watt (Jatmiko, 2011)

Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC melalui inverter apabila diperlukan, oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya, dan

dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri maupun hybrid (dikombinasikan dengan sumber energi lain), baik dengan metode desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel). PLTS merupakan sumber energi terbarukan, dimana sinar matahari sebagai sumber energi yang tidak ada habisnya, selain itu PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan tanpa ada bagian yang berputar, tidak menimbulkan kebisingan, dan tanpa mengeluarkan gas buangan atau limbah” (Johar Pradityo, 2015)..

2. METODE

2.1 Diaram Aliran Pelaksanaan Penelitian



Gambar 1. Flowchart penelitian

2.2 Teori

A. Faktor daya

Power factor atau faktor daya merupakan perbandingan rasio daya rata-rata dan daya tampak. Daya semu, juga dikenal sebagai permintaan, adalah ukuran jumlah daya yang digunakan untuk menjalankan mesin dan peralatan selama periode tertentu.

$$Pf = \frac{P}{S} = \frac{V_{eff} I_{eff} \cos \theta}{V_{eff} I_{eff}} = \cos \theta \quad (1)$$

Hubungan antar daya tersebut dapat dinyatakan mepresentasikan daya tersebut sebagai vector, akan membentuk seperti segitiga biasanya sering disebut segitiga daya, untuk daya rata-rata bisa Digambar vektor vertikal, vektor daya tampak dapat direpresentasikan sebagai sisi miring dari segitiga siku-siku.

Untuk komponen L dan C:

$$\begin{aligned} P &= V_{eff} I_{eff} \cos \theta \\ Q &= V_{eff} I_{eff} \sin \theta \\ S &= V_{eff} I_{eff} \end{aligned} \quad (2)$$

B. Karakteristik PV

Setiap hari sel surya menerima masukan dari sinar matahari sangat bervariasi. Itu tergantung pada intensitas sinar matahari yaitu matahari pada siang hari memiliki intensitas matahari yang besar, sedangkan pada sore hari Matahari memiliki intensitas yang rendah. Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan maka perlu dilakukan pengukuran tegangan (V) dan arus (I) pada panel surya. Saat modul surya menerima cahaya matahari, pada kutub positif dan negative modul surya diukur menggunakan voltmeter untuk mengetahui tegangan yang

dihasilkan. Saat itu sistem belum terhubung ke beban jadi tidak ada arus yang mengalir, maka pengukuran ini disebut open circuit voltage (V_{oc}). Mengalirnya arus dari modul surya ke beban hal itu dikarenakan penerapan beban atau pengisian baterai terhubung diantara kedua terminal. Jika hal tersebut terjadi maka, tegangan modul lebih kecil dari pada V_{oc} Terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan, diantaranya adalah:

1. Titik Daya Maksimum (V_{mp} dan I_{mp})

Titik Daya Maksimum (V_{mp} dan I_{mp}) Pada kurva IV, adalah titik operasi yang menunjukkan pertunjukan daya maksimum yang dihasilkan oleh panel sel surya.

2. *Open Circuit Voltage* (I_s)

Open Circuit Voltage V_{oc} , adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai ketika tidak ada arus.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_s} + 1 \right) \quad (3)$$

Dimana: k = konstanta boltzmann (1.30×10^{-16} erg)

q = konstanta muatan elektron (1.602×10^{-19} C)

T = suhu dalam Kelvin

I_s = Arus saturas

3. Arus Sirkuit Pendek (I_{sc})

Short Circuit Current (I_{sc}), merupakan arus keluaran maksimum dari panel sel surya yang dapat dikeluarkandalam kondisi tanpa hambatan atau korsleting.

$$I_{sc} = qG(L_n + L_p) \quad (4)$$

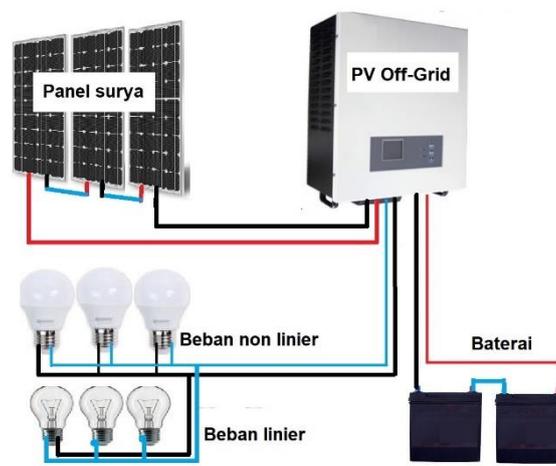
4. Faktor Isi (FF)

Fill Factor adalah parameter yang menentukan daya maksimum panel sel surya

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_o \cdot I_{sc}} \quad (5)$$

2.3 Desain Sistem Daya *Off-grid*

Dalam penelitian ini dilakukan didepan laboratorium elektro unika dengan Merangkai seri panel surya ditempat yang luas dan serta intensitas cahaya mataharinya yang maksimal koneksikan dengan PV *off-grid* power system dan di sambungkan ke baterai. Rancangan bisa dilihat Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan instalasi alat



Gambar 3. Pengujian laboratorium aliran daya pada *Off-grid Photovoltaic Solar Power System*

Bahan serta alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah :

- (i). Baterai
2 buah baterai dengan spesifikasi satunya 12 VDC 45 AH
- (ii). PV (*photovoltaic*)
Dalam penelitian ini menggunakan PV untuk mengkonversi energi matahari menjadi listrik DC dengan spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi PV

Parameter	Nilai
<i>Maximum Power</i>	190 W
<i>Maximum Power Current</i>	10,11 A
<i>Maximum Power Voltage</i>	18,8 V
<i>Open Circuit Voltage</i>	23,5 V
<i>Short Circuit Current</i>	10,23 A

- (iii). *Off-grid system*

Sebagai *off-grid*, sistemnya menggunakan kenika model 1000 W, dengan inputan 24 VDC

Tabel 2. *Off-grid system*

Parameter	Nilai
Model	1000 W
DC <i>input</i>	24 VDC
V _{max} PV	100 VDC
I _{sc} PV	48 VDC
<i>Output</i>	200-240VAC

- (iv). Beban
Untuk beban yang digunakan adalah beban linier yaitu lampu LED 10 W dan beban non linier lampu bohlam 100 W
- (v). Osiloskop
Alat untuk mengukur dan melihat gelombang keluaran dan masukan dalam penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

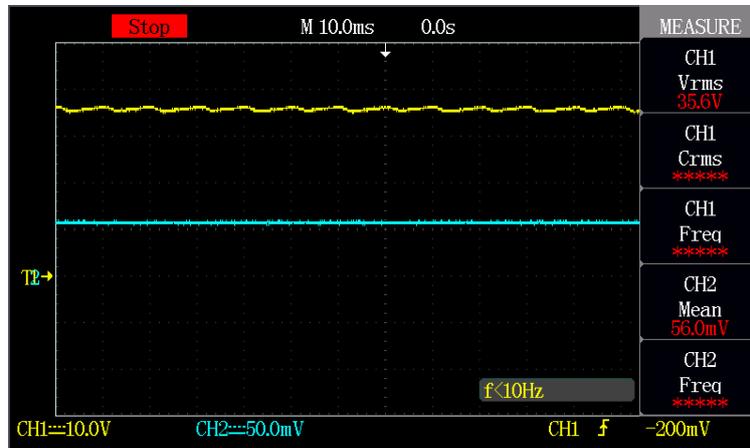
Off-grid adalah system yang memungkinkan untuk menyimpan tenaga surya ke dalam baterai untuk digunakan saat jaringan listrik padam. Kelemahannya system ini mnyediakan daya terbatas karena biayanya yang mahal dan volume baterai serta perawatan yang berkelanjutan. inverter dapat menyalakan listrik AC untuk panel distribusi sekaligus mengisi baterai. Inverter tipe off grid dapat bekerja secara mandiri tetapi tidak bisa terhubung ke jaringan dan output daya listrik sesuai dengan jumlah daya yang dibutuhkan oleh beban AC. Untuk stabilisasi daya keluaran karena perubahan pada sumber energi listrik yang berasal dari matahari dan perubahan beban, maka PLTS bersifat mandiri dilengkapi dengan baterai. Penggunaan baterai yang dimaksudkan untuk menyimpan kelebihan daya saat beban rendah dan dapat berpartisipasi dalam memasok daya bersama dengan daya keluaran panel surya saat kebutuhan daya beban tinggi

Off-grid dapat menjadi sumber energi alternatif Untuk menggantikan sumber daya listrik bahan bakar fosil. Cara kerja dari *off-grid* adalah PV menangkap sinar matahari mengkonfersinya menjadi energi listrik DC menuju ke baterai, inverter menarik daya dari baterai kemudian dikoversi menjadi listrik AC untuk diteruskan ke panel distribusi. Sebagai pilihan lain jika tidak ada daya yang cukup di baterai dari PV.

Beban dalam penelitian ini menggunakan lampu led dan lampu bohlam saat lampu menggunakan lampu led arus tidak mengikuti atau tidak sama dengan tegangan atau bisa dibilang non linier karna terdapat harmonic yang mendistorsi gelombang tersebut, sedangkan untuk lampu bohlam gelombang mengikuti atau sama dengan mengikuti tegangan atau sama dengan tegangan. Didapatkan hasil dari beberapa percobaan mode operasi yang dimiliki *off-grid* yaitu :

1. Mode PV, baterai dan beban untuk mode ini PV mengkonversi energi matahari menjadi listrik DC untuk mengisi baterai dan beban.
2. Mode Batere dan beban.
3. Mode PV dan baterai pada mode ini PV hanya mengisi baterai.
4. Mode hybrid dari PV dan AC input yang hidup bersamaan masuk kedalam baterai dan juga beban

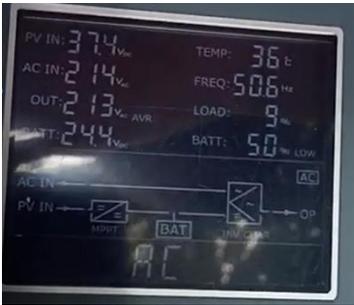
Gambar dibawah ini merupakan hasil dari mode oprasi PV, baterai dan 2 variasi beban dengan menggunakan bohlam 100 W dan 10W lampu led unntuk mengujinya.



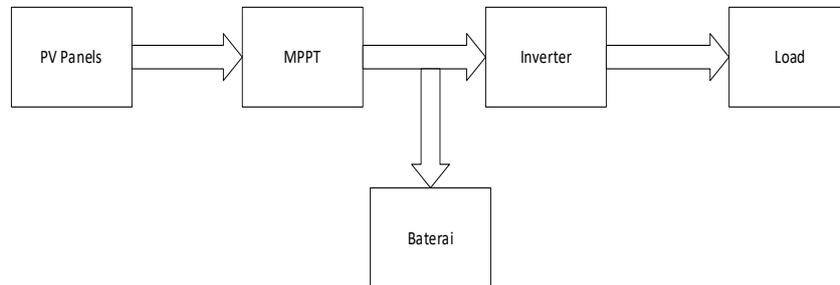
Gambar 4 Tegangan DC saat *charging* batere oleh *photovoltaic*

Berikut ini merupakan gambaran dari mode – mode operasi akan ditampilkan pada Tabel 3.

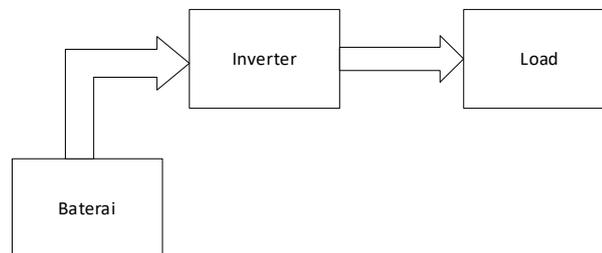
Tabel 3. Macam-macam Mode Operai

No	Macam-macam Mode Operai	Keterangan
	Mode Operasi	
1		Mode operasi saat terhubung dengan satu sumber (batere)
2		Mode operasi saat terhubung dengan dua sumber (batere dan <i>grid</i>)
3		Mode operasi saat terhubung dengan dua sumber (batere dan <i>photovoltaic</i>)
4		Mode operasi saat terhubung dengan tiga sumber (batere, <i>photovoltaic</i> dan <i>grid</i>)

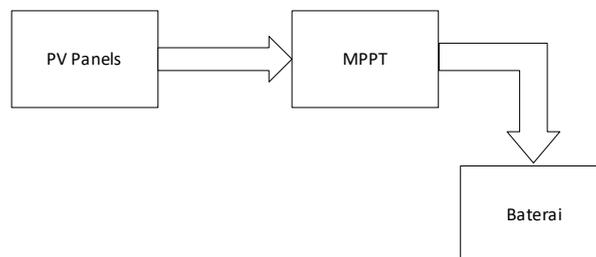
3.1 Analisa Aliran Arus



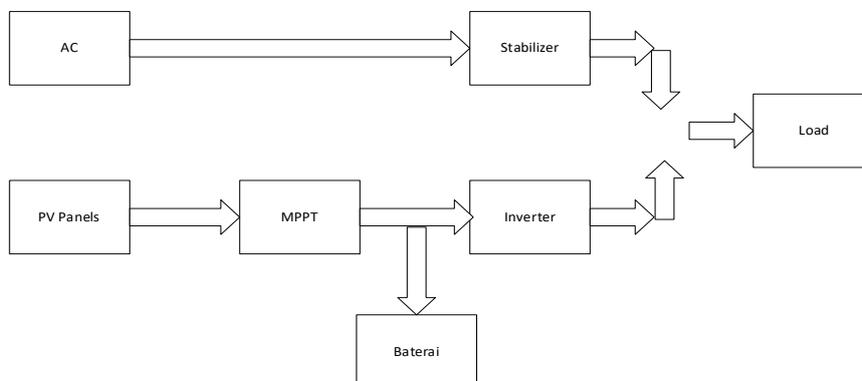
Gambar 5. Aliran arus saat Mode operasi terhubung dengan tiga sumber (batere, *photovoltaic* dan grid)



Gambar 6. Aliran arus saat Mode operasi terhubung dengan satu sumber (batere)



Gambar 7. Aliran arus saat Mode operasi terhubung dengan dua sumber (batere dan *photovoltaic*)



Gambar 8. Aliran arus saat *hybrid* tiga sumber (batere, *photovoltaic* dan grid)

Tabel 4. Analisis Mode Operasi

NO	Analisis mode Operasi	
	Mode Operasi	Keterangan
1	Aliran arus saat mode PV, baterai, dan beban	Menunjukkan arah arus mengarah dari Pv panel masuk MPPT kemudian baterai (untuk charging) menuju ke inverter untuk dikonversi menjadi listrik AC ke beban
2	Aliran arus saat mode baterai, dan beban	Mode baterai ini sumber daya dari baterai langsung di konvert dari DC ke AC melalui inverter kemudian masuk ke beban, mode ini hanya baterai sebagai sumber utamanya.
3	Aliran arus saat mode PV, baterai	Dalam mode ini PV hanya untuk mengisi atau mencarging baterai saja.
4	Aliran arus saat <i>Hybrid</i>	Mode ini menggabungkan antara listrik AC dan DC dari PV untuk mensuplay beban, AC menuju stabilizer kemudian masuk ke beban, untuk PV masuk ke MPPT menuju baterai untuk mengisi kemudian menuju ke inverter untuk mengubah menjadi ke AC lalu ke beban. Apabila dari salah satu sumber itu ada yang bermasalah system akan otomatis merubah menjadi mode PV atau mode AC, contoh jika ada pemadaman listrik tiba-tiba maka system akan otomatis merubah ke mode PV dan juga sebaliknya jika PV tidak memberikan daya yang efektif mode akan berganti ke mode AC

3.2 Komputasi

Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung keluarnya daya yang di hasilkan untuk menghitung dayanya bisa menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \quad (6)$$

Dimana:

- P = Daya (W)
- V = tegangan (V)
- I = Arus (A)

4. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan dari penelitian diatas *off-grid* PV Solar Power System ini memiliki 4 mode perasi yang berbeda-beada, yaitu :

1. Mode operasi saat terhubung dengan satu sumber (batere)
2. Mode operasi saat terhubung dengan dua sumber (batere dan grid)
3. Mode operasi saat terhubung dengan dua sumber (batere dan *photovoltaic*)
4. Mode operasi saat terhubung dengan tiga sumber (batere, *photovoltaic* dan grid)

Dalam beberapa mode ini mode operasi 4 yang paling lengkap karna memiliki 3 sumber daya yang dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif, di mode ini apabila sumber dari matahari tidak maksimal bisa di bantu dengan sumber grid dan sebaliknya jika grid tidak maksimal bisa dibantu dengan *photovoltaic*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional dengan Kontrak Pelaksanaan Program Pengabdian Masyarakat Nomor: 089/SP2H/PPM/DPRM/2021

PUSTAKA

- AfsariArdabilil, N., SeyedShenava, S. J., & Shayeghi, H. (2018). Price and Reliability-Based Planning of Hybrid Power System in *Off-grid* Mode. *Proceedings - 2018 Smart Grid Conference, SGC 2018*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/SGC.2018.8777775>
- .Boussetta, M., Elbachtiri, R., Khanfara, M., & Elhammoumi, K. 2017. Performance analysis and power evaluation of Hybrid *Off-grid* System. *Proceedings of 2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2016*, 1130–1134. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2016.7983942>
- Kossi, V. R. (2018). Perencanaan PLTS Terpusat (*Off-grid*) Di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah. *Jurnal SI Teknik Elektro UNTAN*, 2(1).
- Ehtesham, M., & Jamil, M. 2018. Enhancement of Power Quality Using Active Power Filter for PV Systems with Model Based MPPT. *2017 14th IEEE India Council International Conference, INDICON 2017*. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2017.8487544>
- Garg, R. 2019. Comparison of an *Off-grid* Solar Power Plant based Renewable Energy Production. *Proceedings of the 3rd International Conference on Electronics and Communication and Aerospace Technology, ICECA 2019*, 521–525. <https://doi.org/10.1109/ICECA.2019.8821954>
- Hicks, C., Baghzouz, Y., & Haddad, S. (2018). Power quality of residential PV system under low solar irradiance and *Off-grid* operation. *Proceedings of International Conference on Harmonics and Quality of Power, ICHQP, 2018-May*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2018.8378937>
- Ivanova, I. Y., Tuguzova, T. F., & Khalgaeva, N. A. 2018. Comparative Analysis of Approaches to Consider Rationale of use of Solar Panel Plants for Power Supply of *Off-grid* Consumers. *Proceedings - 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon 2018*, 75–79. <https://doi.org/10.1109/URALCON.2018.8544276>
- Jasuan, A., Nawawi, Z., & Samaulah, H. 2019. Comparative Analysis of Applications *Off-grid* PV System and On-Grid PV System for Households in Indonesia. *Proceedings of 2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science, ICECOS 2018*, 253–258. <https://doi.org/10.1109/ICECOS.2018.8605263>
- Jumadi. 2015. Analisis pengaruh jenis beban listrik terhadap kinerja pemutus daya listrik di gedung cyber Jakarta. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 7(2), 108–117
- Malakani, A. I., Handoko Arthanto, D., Dwi Wicaksono, B. G., & Purwadi, A. (2019). Study and Design of *Off-grid* PV Power System in Pirien, Asmat Regency, Papua Province using MATLAB/SIMULINK. *Proceedings of the 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems: Towards Sustainable and Reliable Power Delivery, ICHVEPS 2019*, 339–343. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011048>
- Naim, M. (2020). RANCANGAN SISTEM KELISTRIKAN PLTS OFF GRID 1000 WATT DI DESA LOEHA KECAMATAN TOWUTI. 12(01), 17–25.
- RAMADHANTI, S. K. (2019). *Desain Sistem Penggunaan Panel Surya Off-grid Untuk Lampu Belajar Siswa Berbasis Baterai Di Sekolah Yang Terletak Di Desa Terpencil*. 6(1), 18–25.
- Sharma, P., Bojja, H., & Yemula, P. 2016. Techno-economic analysis of *Off-grid* rooftop solar PV system. *2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems, ICPS 2016*, ii. <https://doi.org/10.1109/ICPES.2016.7584208>