

ANALISIS HARMONISA PADA OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER SYSTEM TERHADAP BEBAN NON-LINIER

Leonardus Heru Pratomo^{1*}, Satrio Fitrianto², Arifin Wibisono³

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

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

ABSTRAK

Indonesia terletak di kawasan khatulistiwa sehingga memiliki potensi energi matahari yang sangat berlimpah dan bersinar terus menerus sepanjang tahun, rata-rata perharinya mampu menghasilkan energi sebesar 4,8kWh/m². Salah satu cara memanfaatkan energi matahari yaitu menggunakan photovoltaic, dimana energi matahari akan dirubah menjadi energi listrik DC. Prinsip kerja photovoltaic secara off-grid: listrik yang dihasilkan berupa listrik DC disimpan pada baterai, kemudian listrik dari baterai dirubah menjadi listrik AC menggunakan alat inverter dan menghasilkan tegangan 220Volt AC dengan frekuensi 50Hz sesuai spesifikasi listrik di Indonesia. Listrik AC yang dihasilkan oleh off-grid photovoltaic system digunakan untuk mensuplai beban non-linier berupa 4 buah lampu LED dengan total daya 40Watt. Hal tersebut menjadi tujuan pada penelitian ini yang membahas terkait analisa kualitas daya listrik, berupa kandungan harmonisa yang dihasilkan oleh photovoltaic yang dikoneksikan secara off-grid terhadap beban non-linier. Hasil penelitian menunjukan sinyal keluaran mengalami distorsi dan memiliki kandungan harmonisa THD-F sebesar 78,91% dan THD-R sebesar 61,91%.

Kata kunci: Photovoltaic, Off-grid, beban non-linier, kualitas daya, harmonisa

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis yang terletak di kawasan khatulistiwa, sehingga potensi paparan cahaya dan energi matahari yang dihasilkan sangat berlimpah. Matahari bersinar terus menerus sepanjang tahun dan menghasilkan energi rata-rata sebesar 4,8KWh/m² (Rizwan. mohd, 2017).

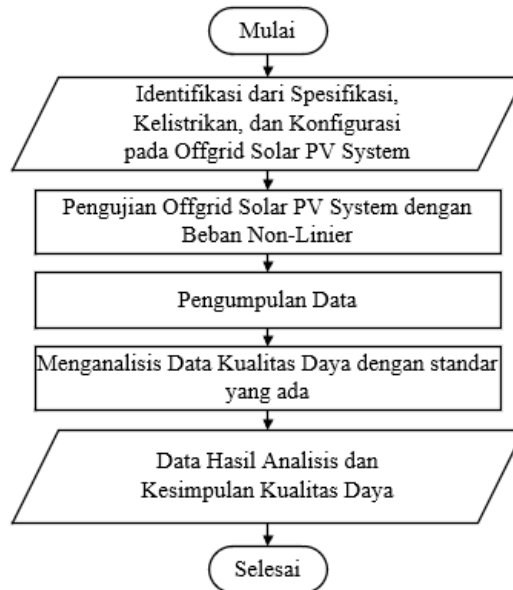
Melihat dari potensi energi matahari yang sangat besar tersebut, maka dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dari *Off-grid photovoltaic solar power system*. Pada sistem *Off-grid* ini menggunakan produk dari KENIKA yang didalamnya sudah terdapat beberapa peralatan seperti *Maximum Power Point Tracker* (MPPT), (Liu, dkk, 2008), (Calavial, dkk, 2010), (Esram, dkk, 2006), *inverter* dan layar monitor. Sistem *off-grid* ini bekerja dengan cara sebagai berikut, energi yang dihasilkan oleh matahari menumbuk panel *photovoltaic*, kemudian *photovoltaic* merubah energi tersebut menjadi sebuah listrik DC. Listrik dalam besaran energi DC ini digunakan untuk mengisi baterai dan mensuplai *inverter* yang telah dimaksimalkan energinya melalui proses DC-DC konverter ber algoritma MPPT. *Inverter* akan merubah listrik dalam besaran DC tersebut menjadi energi listrik dalam besaran AC dengan spesifikasi listrik sesuai standar PT. PLN yaitu 220Volt AC dan frekuensi 50Hz, (Mohan, dkk, 1995), (Rashid, 1993), (Skvarenina, 2002).

Listrik dalam besaran AC yang dihasilkan pada sistem ini nantinya akan digunakan untuk menyuplai beban *non-linier* berupa 4 buah lampu LED, masing-masing 10 Watt. Dikarenakan beban yang digunakan adalah beban *non-linier*, maka perlu dipastikan terkait dengan kualitas daya yang dihasilkan, gelombang harmonisa yang dihasilkan setelah terbebani dengan beban *non-linier* tersebut. Suatu analisis dilakukan untuk mengetahui seberapa baik kualitas daya yang dihasilkan dan nilai THD yang terdapat dari *Off-grid photovoltaic solar power system*. Hasil ujicoba yang dilakukan akan dibandingkan dengan standar internasional IEEE 519-1992, secara lebih detail akan dibahas lebih lengkap pada tulisan ini (Wirajaya, dkk., 2019).

2. METODE

2.1 Alur Penelitian

Dalam mempermudah pelaksanaan penelitian diperlukan tahapan-tahapan penelitian, untuk tahapan penelitian tersebut akan dijelaskan dalam bentuk *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Diagram alur pelaksanaan penelitian

2.2 Beban Non-Linier

Implementasi peralatan elektronika daya sudah hampir merambah ke seluruh sektor aplikasi. Proses pensaklaran dalam peralatan elektronik dapat mengakibatkan terbentuknya ketidak linieran. Munculnya arus yang tidak linier menunjukkan adanya kandungan harmonisa sehingga mengakibatkan terjadinya distorsi arus dan tegangan. Beban *non-linier* yang memiliki impedansi tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan juga dapat mengakibatkan harmonisa dan konsep teori daya konvensional akan menjadi tidak akurat lagi, (Watanabe, dkk., 1993).

2.3 Analisa Harmonisa

Dalam menganalisis harmonisa menggunakan standar yang telah ditetapkan oleh IEEE std 519, 1992. Terdapat beberapa parameter penting yang digunakan untuk menjabarkan sejauh mana pengaruh harmonisa terhadap tenaga listrik. Jika tegangan dan arus dalam sistem tenaga mengalami distorsi maka persamaan yang dapat diturunkan untuk tegangan sesaatnya adalah :

$$v(t) = V_{m1}(\omega t + \varphi_1) + V_{m2}(2\omega t + \varphi_2) + \dots + V_{mn}(n\omega t + \varphi_n) \quad (1)$$

$$i(t) = I_{m1}(\omega t + \theta_1) + I_{m2}(2\omega t + \theta_2) + \dots + I_{mn}(n\omega t + \theta_n) \quad (2)$$

Daya sesaat dari suatu sistem didefinisikan sebagai perkalian antara nilai sesaat dari besaran tegangan dan arus, disajikan dengan persamaan :

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos \phi_n \quad (3)$$

Daya semu didefinisikan sebagai hasil perkalian nilai efektif tegangan dengan nilai efektif arus,

$$S = V \cdot I \quad (4)$$

di mana nilai efektif tegangan dinyatakan seperti persamaan berikut ini.:

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2} \quad (5)$$

dan nilai efektif arus dapat digunakan persamaan,

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \quad (6)$$

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan perbandingan antara nilai efektif dari komponen-komponen harmonisa terhadap nilai efektif komponen fundamental dari besaran tersebut yang dinyatakan dalam prosen, sebagai berikut :

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (7)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (8)$$

Indeks THD sering dipakai untuk mengukur deviasi kandungan harmonisa pada gelombang sinusoidal. Untuk gelombang sinusoidal murni yang hanya memiliki komponen fundamental maka nilai THD-nya sama dengan nol. Sedangkan jika nilai harmonisa tidak diambil secara keseluruhan tetapi masing-masing orde maka THD akan menjadi IHD (*Individual Harmonic Distortion*). *Total Demand Distortion* (TDD) merupakan distorsi arus harmonisa total dan didefinisikan dengan persamaan,

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (9)$$

di mana I_L merupakan arus beban maksimal yang dibutuhkan (selama 15–30 menit) pada frekuensi fundamental, dihitung sebagai nilai rata-rata dari arus beban maksimum yang dibutuhkan selama 12 bulan. Konsep TDD ini sesuai untuk penerapan *IEEE 519-1992 Standard*.

Pada sistem satu fasa dengan tegangan dan arus sesaat sebagai berikut :

$$v(t) = \sqrt{2}V \sin(\omega t + \theta) \quad (10)$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \theta) \quad (11)$$

Besarnya daya sesaat dari sistem di atas dapat dinyatakan dengan perkalian antara tegangan sesaat dan arus sesaat sebagai berikut.

$$p(t) = VI \cos \theta (1 - \cos 2\omega t) - VI \sin \theta \sin 2\omega t \quad (12)$$

Persamaan (12) memiliki dua komponen yaitu $VI \cos \theta (1 - \cos 2\omega t)$, yang merupakan gelombang sinusoidal dengan frekuensi dua kali frekuensi sistem dengan nilai rata-rata $VI \cos \theta$, Nilai rata-rata dari komponen tersebut dikenal dengan daya nyata rata-rata dan dinyatakan dengan,

$$P = VI \cos \theta \quad (13)$$

dan komponen ke dua $VI \sin \theta \sin 2\omega t$ yang merupakan gelombang sinusoidal dengan puncak $VI \sin \theta$ dan frekuensi dua kali sistem, tetapi nilai rata-ratanya sama dengan nol, nilai puncak ini sering didefinisikan sebagai daya reaktif yang dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$Q = VI \sin \theta \quad (14)$$

Dalam aplikasi pada kondisi nyata, sering dijumpai kondisi dimana arus akan terdistorsi akibat pembebanan. Besaran arus ini dinyatakan dalam deret :

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2}I_h \sin(h\omega t + \theta_h) \quad (15)$$

Maka besarnya daya sesaat dinyatakan :

$$p(t) = VI_1 \cos \phi_1 (1 - \cos 2\omega t) - VI_1 \sin \phi_1 \sin 2\omega t + \sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{2}VI_h \sin(\omega t + \phi) \sin(h\omega t + \theta_h) \quad (16)$$

Daya semu S merupakan besaran yang diperoleh sebagai perkalian nilai efektif dari tegangan dan arus :

$$\begin{aligned} S^2 &= V^2 I^2 \\ S^2 &= V^2 (I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_h^2) \\ S^2 &= V^2 I_1^2 + V^2 (I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_h^2) \\ S^2 &= (P \cos \phi_1)^2 + (Q \sin \phi_1)^2 + V^2 (I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_h^2) \\ S^2 &= P^2 + Q^2 + H^2 \end{aligned} \quad (17)$$

Dari uraian diatas, maka dikenal beberapa definisi :

a. *Displacement factor* atau *fundamental power factor* = $\cos \phi_1$,

b. *Distortion factor* = $\frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S} = \frac{I_1}{I} = \cos \gamma$,

c. *Total power factor* = $\frac{I_1}{I} \cos \phi_1 = \cos \phi$.

Dari uraian ini penentuan daya nyata atau daya aktif didasarkan pada nilai efektif yang memerlukan waktu selama satu period, (Riyadi, 2003) (Riyadi, 2011).

2.4 Batas Harmonisa Arus dan Tegangan Sesuai Standar IEEE 512-1992

Batas harmonisa yang diizinkan untuk arus berdasarkan standar IEEE 512-1992 ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. IEEE 519-1992 current distortion limits

Maximum Harmonics Current Distortion in (%) dari IL						
<i>Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)</i>						
Isc / IL	< 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤	TDD
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20-50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50-100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100-1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Sedangkan batas harmonisa yang diizinkan untuk arus berdasarkan standar IEEE 512-1992 ditunjukkan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. IEEE 519-1992 voltage distortion limits

Maximum Harmonics Voltage Distortion in (%)		
Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion	Total Voltage Distortion THD
69 Kv ke bawah	3,0	5,0
69,001 Kv – 161 Kv	1,5	2,5
161,001 Kv ke atas	1,0	1,5

2.5 Pengambilan Data Penelitian

Dalam pengambilan data penelitian ini dilakukan pada waktu yang tepat, dimana saat cuaca sedang cerah dan sinar matahari tepat di atas panel surya yaitu pada pukul 12,00 sampai dengan pukul 14,00, agar data yang dihasilkan lebih optimal. Data penelitian didapat dari pengukuran kualitas daya keluaran pada sistem *off-grid* terhadap beban *non-linier*.

Peralatan yang digunakan meliputi sebuah *off-grid solar inverter*, 3 buah *photovoltaic* yang dirangkai secara seri, 2 buah baterai yang dirangkai seri, dan untuk beban *non-linier* menggunakan 4 buah lampu LED dirangkai secara paralel. Untuk lebih jelas dan rinci peralatan yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 sampai 6 sebagai berikut:

Tabel 3. Spesifikasi *off grid solar inverter*

Spesifikasi Off Grid Solar Inverter		
Model	1000	Watt
DC Input	24	Volt DC
V_{Max} PV	100	Volt DC
I_{SC} PV	48	Amper DC
AC Output	220	Volt AC
Operating Temperature	0-40	°C

Tabel 4. Spesifikasi *photovoltaic*

Spesifikasi Photovoltaic		
Maximum Power (Pmax)	190	Watt
Maximum Power Current (Imp)	10,11	Amper
Maximum Power Voltage (Vmp)	18,8	Volt DC
Open Circuit Voltage (Voc)	23,5	Volt DC
Short Circuit Currents (Isc)	10,23	Amper DC
Operating Temperature	25	°C

Tabel 5. Spesifikasi baterai

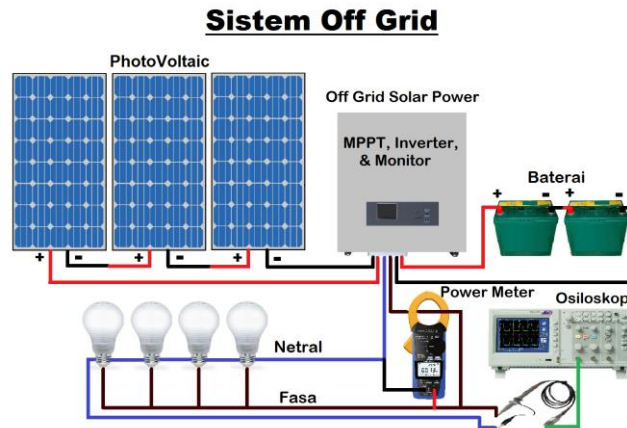
Spesifikasi Baterai		
Kapasitas	45	AH
Tegangan	12	Volt DC

Tabel 6. Spesifikasi lampu LED

Spesifikasi Lampu LED		
Maximum Power (Pmax)	10	Watt
Tegangan Kerja	220	Volt AC

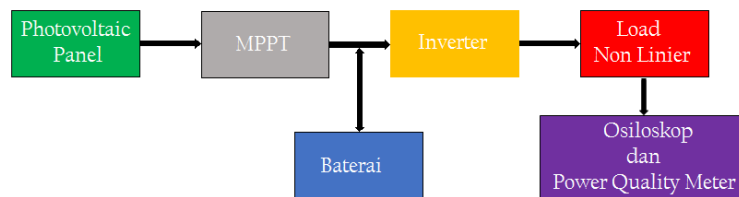
Proses pengambilan data dan pengukuran kualitas daya meliputi pengukuran umum, pengukuran harmonisa dan pengukuran THD terhadap beban non linier menggunakan alat ukur *power quality meter* (Hioki 3286-20) yang memiliki tingkat keakuratan lebih baik, sedangkan untuk melihat hasil sinyal keluaran sistem *off-grid solar inverter* terhadap beban *non-linier* dengan menggunakan alat ukur osiloskop (siglent SDS1204X-E).

Pengambilan data pada instalasi sistem *off-grid solar power inverter* harus dilakukan secara benar guna memastikan pengambilan data ini baik, maka prosedur harus sesuai dan mengikuti skematik serta blok diagram seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Skematik sistem *off-grid* pengambilan data

Sesuai Gambar 2 diatas, probe osiloskop channel 1 dihubungkan pada fasa dan netral keluaran *off-grid system*. Kemudian untuk alat ukur *power quality meter* bagian tang ampere dijepitkan pada kabel fasa yang terhubung beban, bagian kabel positif hubungan pada fasa dan kabel negatif dihubungkan dengan netral. Untuk alur pengambilan data dan gambaran pengujian di laboratorium pada *off-grid photovoltaic solar power system* dengan beban non-linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4 berikut ini.



Gambar 3. Blok diagram pengambilan data



Gambar 4. Pengujian laboratorium *Off-Grid Photovoltaic Solar Power System* dengan beban *non-linier*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Pengukuran dari Layar Monitor *Off Grid System*

Pengambilan data melalui layar monitor dari *off-grid solar power inverter* berisi data pengukuran yang meliputi tegangan masukan *photovoltaic*, *temperature*, frekuensi, tegangan keluaran dari *inverter*, tegangan

baterai, persentase daya baterai, dan jumlah beban yang digunakan dalam satuan persentase. Hasil data pengukuran yang tertampil pada layar monitor ditunjukkan pada Gambar 5 sebagai berikut:



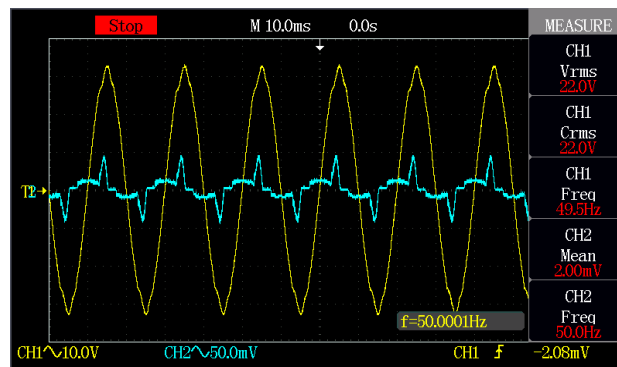
Gambar 5. Mode operasi dan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada layar monitor

Sesuai Gambar 5 diatas, *off-grid system* sedang bekerja. *Photovoltaic* mengisi baterai yang dikontrol oleh MPPT, kemudian pada saat bersamaan tegangan DC dari baterai diubah menjadi tegangan AC dengan *inverter* dan kemudian digunakan untuk mensuplai beban berupa peralatan listrik sumber AC. Sehingga data yang dihasilkan murni dari energi matahari dan juga baterai penyimpanan dari *off-grid system*.

Dari layar monitor tersebut menunjukkan tegangan masukan *Photovoltaic* sebesar 44 volt DC, kemudian tegangan baterai sebesar 24 volt DC atau 68% dari 100% total tegangan baterai saat terisi penuh. Tegangan keluaran dari *off-grid system* sebesar 219 volt AC dan digunakan untuk menyalakan 4 buah lampu LED dengan total daya 40 Watt atau setara dengan 4% beban dari 100% total beban maksimum.

3.2 Data Pengukuran Harmonisa Menggunakan Osiloskop

Pengukuran menggunakan osiloskop bertujuan untuk mengetahui seberapa bagus sinyal keluarannya bisa dalam bentuk sinus murni, bentuk sinus dengan sedikit distorsi, maupun bentuk gelombang harmonisa. Setelah melakukan pengukuran dengan menggunakan osiloskop diperoleh hasil sinyal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6. Arus dan tegangan keluaran saat terhubung pada beban *non-linier*

Sesuai Gambar 6, tegangan keluaran (sinyal berwarna kuning) dari *off-grid system* berbentuk sinusoidal murni dan setelah diberi beban *non-linier* 4 buah lampu LED dengan total daya sebesar 40 Watt akan menghasilkan arus keluaran menjadi tidak sinusoidal lagi (sinyal berwarna biru). Arus keluaran yang demikian disebabkan distorsi akibat pembebanan. Kandungan harmonisa yang dapat menyebabkan bahaya berupa kerusakan apabila digunakan untuk menyuplai peralatan elektronik dan listrik. Lampu LED memiliki komponen kapasitif di dalamnya sehingga mengakibatkan sinyal terdistorsi dan memiliki kandungan harmonisa tipe tegangan.

3.3 Data Pengukuran Harmonisa Menggunakan Power Quality Meter

Pengukuran harmonisa menggunakan alat ukur *power quality meter* bertujuan untuk memperoleh data. Hasil pengukuran tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisa. Data hasil pengukuran umum ditunjukkan pada Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil pengukuran

Parameter	Nilai Pengukuran	Satuan
Daya	31	W
Tegangan	221,7	V
Arus	0,256	A
Frekuensi	50	Hz
Faktor Daya	0,552	

Tabel 7 diatas merupakan hasil pengukuran secara umum. Dari hasil pengukuran dapat terlihat bahwa faktor daya sebesar 0,552. Batasan yang ditetapkan oleh PT. PLN terkait factor daya adalah sebesar 0,85, maka dapat disimpulkan beban lampu LED yang dipakai memiliki faktor daya yang rendah. Sedangkan data hasil pengukuran harmonisa dengan target pengukuran (rentang) ACA (6,000A) ditunjukkan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil analisa pengukuran harmonisa

Tingkat	Level Harmonisa (A)	Kandungan Harmonisa (%)
1	0,196	100,00
2	0,001	0,64
3	0,102	52,19
4	0,001	0,52
5	0,080	40,77
6	0,002	1,00
7	0,070	35,46
8	0,001	0,65
9	0,041	20,74
10	0,003	1,30
THD-F=78,91%		THD-R=61,91%

Tabel 8 diatas merupakan pengambilan data sebanyak 10 orde dari jumlah orde keseluruhan sebanyak 30 orde dalam satu kali pengukuran. Orde pertama merupakan hasil fundamental. Dalam pengukuran harmonisa terdapat dua hasil data THD yaitu THD-F dan THD-R dalam satuan persentase. Data yang dihasilkan THD-F bernilai 78,91% dan THD-R bernilai 61,91%, sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh IEEE 519-1992 nilai THD yang diizinkan adalah sebesar 5% maka hasil data THD yang terukur pada tabel 8 di atas melebihi batas standar yang telah ditetapkan. Berdasarkan ujicoba dilaboratorium pembebanan non linier (lampu LED) akan mengakibatkan perubahan daya, sehingga daya yang dihasilkan tidak maksimal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan ujicoba di laboratorium pada *off-grid system photovoltaic solar power system* terhadap pembebanan non linier (lampu LED) arus keluaran akan terjadi distorsi yang disebabkan munculnya kandungan harmonisa akibat adanya beban *non-linier*. Hasil pengukuran kualitas daya menggunakan alat ukur *power quality meter* menunjukkan faktor daya sebesar 0,552 masih dibawah rekomendasi PT. PLN dan nilai THD-F sebesar 78,91% serta THD-R sebesar 61,91% melebihi batas yang ditentukan oleh standart IEEE 519-1992 yaitu sebesar 5%.

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

- Calavial, M, J. M. Perié1, J. F. Sanz, and J. Sallán. Comparison of MPPT strategies for solar modules. *in Proc. Int. Conf. Renewable Energies Power Quality*, Granada, Spain, Mar. 22–25, 2010
- Esrn, T, Jonathan W. Kimball, Philip T. Krein, Patrick L. Chapman, Pallab Midya. Dynamic Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays Using Ripple Correlation Control. *IEEE Power Electron*, VOL. 21, NO. 5, pp. 1282-1291, September 2006.
- IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System, *IEEE Std* 519-1992. 1993.
- Liu, F, Y. Kang, Y. Zhang, and S. Duan. Comparison of p&o and hill climbing MPPT methods for grid-connected PV generator. *in Proc. 3rd IEEE Conf. Industrial Electronic Application*, Singapore, Jun. 3–5, 2008.
- Mohan, N., Undeland, T. M and Robin, W.P, *Power Electronics : Converter Applications and Design*, John Willey and Sons, 1995.
- Riyadi, S, *Metoda Pengendalian Tapis Daya Aktif Shunt Berbasis Daya Sesaat Sumber untuk Sistem Tiga Fasa Empat Kawat*, Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung, 2006
- Riyadi, S. 2011. *Tapis Daya Aktif Shunt: Suatu Alternatif Reduksi Harmonisa*. Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata.
- Rizwan, M. 2017. A Review Paper on Electricity Generation from Solar Energy. *Jurnal Penelitian*, (Online), Volume 5, Issue IX, (<https://www.researchgate.net/publication/320226399> , diakses 9 Juni 2021).
- Rashid, M.H, *Power Electronics, Circuits, Devices and Applications*, Prentice Hall International Inc, 1993.
- Skvarenina Timothy. *The Power Electronics Handbook : Industrial Electronics Series*, CRC Press, 2002.
- Wirajaya, I.P.A., Rinas, I.W. & Sukerayasa, I.W. 2019. Studi Analisa Pengaruh *Total Harmonic Distortion* (THD) terhadap Rugi-Rugi, Efisiensi, dan Kapasitas Kerja Transformator pada penyulang Kerobokan. *Spektrum*, 6(2).
- Watanabe, E. H, Stephan, R.M, Aredes. New Concepts of Instantaneous Active and Reactive Power in Electrical System with Generic Load. *IEEE Trans on Power Delivery*, vol 8 no 2. Pp 697-703, 1993