

Analisis Karakteristik Disturbansi Frekuensi 9 – 150 KHz Pada Sistem Photovoltaic Terhadap Tipe Beban Induktif

Nagib Muhammad^a, Budi Utami^b, Hatib Setiana^c

^aJurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, nagib.muhammad@elektro.pnj.ac.id

^bJurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, budi.utami@elektro.pnj.ac.id

^cJurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, hatib.setiana@elektro.pnj.ac.id

Submitted: 17-01-2024, Reviewed: 29-01-2024, Accepted 05-03-2024
<https://doi.org/10.47233/jteksis.v6i2.1260>

Abstract

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik dengan menggunakan photovoltaic. PLTS menggunakan inverter untuk merubah listrik DC ke AC. Seiring dengan meningkatnya penggunaan rooftop PLTS, maka penggunaan inverter juga meningkat. Faktanya, inverter dapat menghasilkan disturbansi pada frekuensi 9-150kHz sehingga akan menyebabkan masalah terhadap perangkat yang terhubung pada sistem tersebut. Berdasarkan hal tersebut, studi ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik disturbansi pada sistem PLTS terhadap variasi radiasi matahari dengan tipe beban induktif pada rentang frekuensi dari 9 – 150 kHz. Pada studi ini metode Fast Fourier Transformation digunakan untuk mengubah tegangan yang didapatkan dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Teknik Analisis yang digunakan yaitu membandingkan hasil tegangan keluaran PLTS. Diharapkan hasil pengamatan yang didapatkan dapat bermanfaat untuk membangun regulasi terhadap frekuensi harmonisa tinggi untuk sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan distribusi serta bisa menjadi acuan untuk peneliti dalam menganalisis, memprediksi dan mengetahui efeknya terhadap sistem tenaga Listrik. Berdasarkan pengamatan yang didapatkan, secara umum terdapat tiga frekuensi disturbansi dominan yaitu range 19-29kHz, 69-79KHz, dan 140-149kHz sehingga dibuat regulasi pada tiga frekuensi dominan tersebut.

Keywords : disturbansi; energi surya; frekuensi 9-150kHz; inverter PLTS; photovoltaic; radiasi matahari.

Abstrak

Photovoltaic convert light into electricity. It uses an inverter to convert DC to AC electricity. Along with the increasing use of photovoltaic, inverter use has also increased. In fact, inverters can produce disturbances at a frequency of 9-150kHz which will cause problems with devices connected to the system. Based on this matter, this study is focused on observing the disturbance characteristics of photovoltaic system due to variations in irradiation and inductive load in the frequency range from 9 - 150 kHz. In this study the Fast Fourier Transformation method is used to convert the voltage obtained in the time domain into the frequency domain. The analysis technique used is to compare the results of the photovoltaic output voltage. It is expected that the output of this observations can be a reference for developing regulations of high frequency harmonic for photovoltaic system that connected to the distribution network and could be useful to the researcher in analyzing, predicting and knowing the effects on the electric power system. Based on observations obtained, in general there are three frequencies of dominant disturbances, namely the range 19-29kHz, 69-79KHz, and 140-149kHz so the expectation is that regulations will be made on the three dominant frequencies.

Keywords: disturbance; frequency 9-150 kHz; inverter solar panel; photovoltaic; solar irradiance; solar energy.

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license



PENDAHULUAN

Tingginya kebutuhan energi listrik mendorong perkembangan dari penggunaan sumber energi non fosil seperti energi baru dan terbarukan untuk mengurangi tingkat ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas (Yaghoobi, et al., 2019). Energi surya merupakan salah satu sumber energi baru dan terbarukan yang dipakai untuk menghasilkan tenaga listrik (Syed, et al., 2017).

Pemanfaatan energi surya yang diubah menjadi energi listrik diterapkan dengan menggunakan photovoltaic pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya

(PLTS). Photovoltaic merupakan salah satu teknologi energi terbarukan yang sangat menjanjikan dengan berbagai macam manfaat antara lain efisien, instalasi yang murah, sedikit perawatan, barangnya tidak bergerak, dan lain-lain (Priyadarshi, et al., 2018). Photovoltaic dapat digunakan dalam jaringan listrik skala kecil ataupun skala besar dengan memanfaatkan sistem off-grid maupun on-grid (Wu, et al., 2015). Teknologi photovoltaic menghasilkan listrik DC yang selanjutnya dapat diubah menjadi listrik AC menggunakan inverter agar dapat dihubungkan ke beban AC. Proses

pensaklaran dan penggunaan komponen elektronika daya pada inverter dapat membangkitkan distorsi pada tegangan keluarannya pada frekuensi tinggi ($>2\text{kHz}$) (Sandrolini, et al., 2018) (Greverner, et al., 2020). Sedangkan pada sisi beban, tipe beban juga mempengaruhi besar distorsi yang dihasilkan disisi keluaran sehingga emisi dari *power electronic* akan mengalir ke sistem tenaga listrik dan menyebabkan masalah interferensi elektromagnetik (Zhuang, et al., 2018).

Hasil penelitian menyatakan bahwa perangkat dengan teknologi inverter memiliki frekuensi switching pada rentang 9 – 150 kHz sehingga menghasilkan distorsi pada frekuensi tersebut (Sudiarto, 2017), (Sudiarto, et al., 2016). Namun standarisasi pada rentang frekuensi ini masih sangat kurang sehingga usaha untuk membatasi besarnya distorsi juga masih sangat sedikit (Ritzman, et al., 2020).

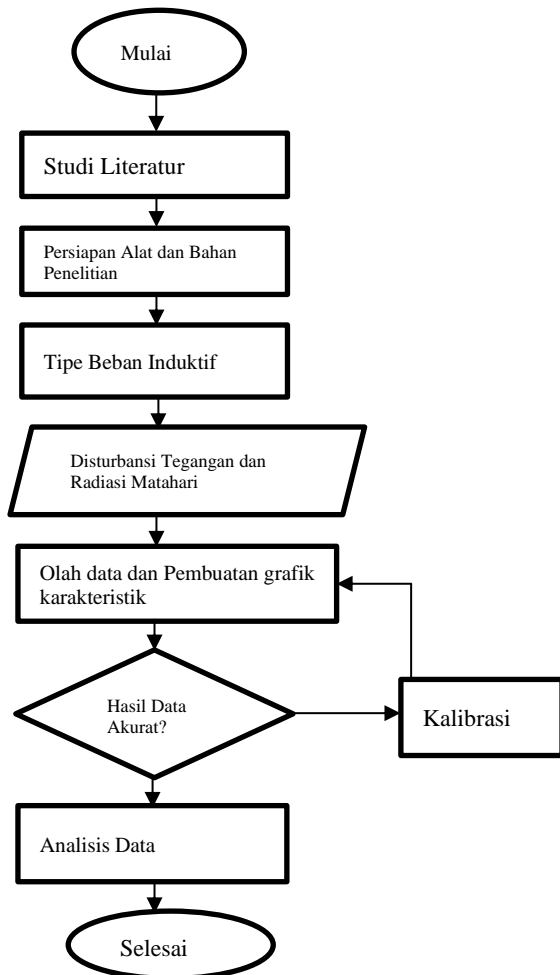
Parameter utama yang memengaruhi keluaran photovoltaic adalah suhu (Dubey, et al., 2015), bayangan, cuaca berawan (Malek & Chen, 2014), (Tiandho, et al., 2018) dan sudut sinar (Quasching, 2005), (Rajput, 2017). Berdasarkan Penelitian juga dikonfirmasi bahwa suhu yang dingin menambah efisiensi dari photovoltaic (Schuepbach, et al., 2015). Dalam pemanfaatannya, energi surya sering terganggu oleh keadaan awan dan bayangan (Samah, et al., 2017). Keadaan awan yang cenderung berubah dalam waktu cepat akan memengaruhi besar radiasi matahari. Perubahan radiasi matahari juga akan memengaruhi keluaran photovoltaic, sehingga menghasilkan keluaran yang fluktuatif (Quasching, 2005), (David, et al., 2017). Penurunan nilai keluaran photovoltaic juga terjadi berdasarkan konfigurasi elektrik dari arraynya (Hiren & Vivek, 2008).

Seiring dengan meningkatnya penggunaan inverter dan dampak negatif distorsi sehingga menyebabkan masalah terhadap perangkat yang terhubung pada sistem tersebut, maka penulis melakukan penelitian mengenai distorsi pada rentang frekuensi dari 9 – 150 kHz pada sistem photovoltaic di sisi keluaran inverter terhadap perubahan radiasi matahari dengan tipe beban induktif sebagai studi awal untuk menginvestigasi karakteristik distorsi di keluaran photovoltaic inverter karena regulasi terhadap distorsi pada rentang frekuensi ini masih jarang. Diharapkan hasil pengamatan yang didapatkan dapat bermanfaat untuk membangun regulasi terhadap frekuensi harmonisa tinggi untuk sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan distribusi. Pada penelitian ini Analisa dilakukan terhadap frekuensi switching pada sumber tegangan karena memiliki

nilai emisi supraharmonek tertinggi (Agudelo-Martinez, et al., 2018).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan mengamati distorsi pada sistem *photovoltaic* yang sedang beroperasi dengan cara menghubungkannya ke alat picoscope yang terhubung ke perangkat laptop. Sisi keluaran beban yang merupakan keluaran dari inverter dihubungkan ke picoscope melalui high pass filter untuk mendapatkan pengamatan distorsi. Beban yang diamati pada pengamatan ini divariasikan berdasarkan tiga jenis beban, yaitu beban resistif, kapasitif, dan induktif. Pada waktu bersamaan saat pengukuran distorsi, juga dilakukan pengukuran radiasi matahari. Setelah didapatkan hasil pengukuran maka dilakukan pengolahan data yang dilihat hanya dari sisi tegangan untuk melihat karakteristik distorsi tegangan dari sumber pembangkit yang bekerja terhadap kontribusinya ke dalam distorsi yang diberikan kepada sistem. Dalam suatu penelitian dibutuhkan tahapan-tahapan proses agar penelitian dapat dilakukan secara terstruktur dan sistematis. Diagram alir ini menjadi acuan penulis dalam menjalankan penelitian agar pengerjaan penelitian berjalan secara efektif dan efisien. Berikut ini adalah diagram alir dari studi yang dilakukan.

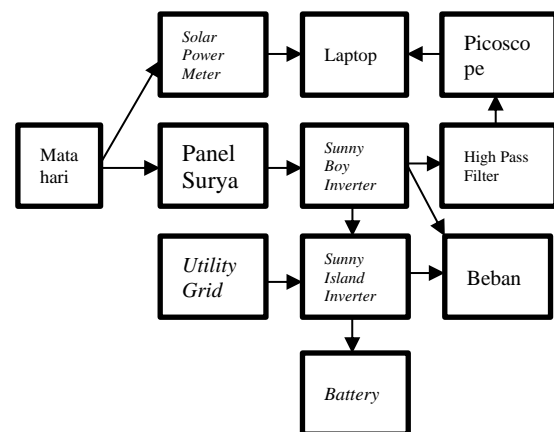


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mempelajari studi literatur, studi literatur dibutuhkan untuk menjadi dasar teori dalam melakukan penelitian. Langkah selanjutnya yang diperlukan yaitu persiapan alat dan bahan penelitian yaitu perlengkapan Solar Panel sebagai alat yang mengkonversi energi Cahaya menjadi listrik, Inverter digunakan untuk mengubah Listrik *Direct Current* (DC) menjadi *Alternating Current* (AC), Beban tipe induktif, *High Pass Filter* sebagai filter sinyal frekuensi 9-150kHz, *picoscope* untuk mengukur tegangan dalam domain waktu, *Solar Power Meter* untuk mengukur besar radiasi matahari, *Battery* untuk menyimpan energi, dan *laptop* untuk mengolah data.

Setelah sistem solar panel dirangkai, hal pertama yang dilakukan adalah mengukur nilai radiasi matahari menggunakan *Solar Power Meter* dan pada waktu yang sama dilakukan pengukuran tegangan dalam domain waktu menggunakan *Picoscope*. Data tegangan dan arus yang didapatkan dari hasil pengukuran menggunakan *picoscope* lalu diolah menggunakan metode *Fast Fourier Transformation*

sedangkan data radiasi matahari yang didapatkan dibuat menjadi grafik sehingga diketahui nilai *disturbansi* tegangan frekuensi 9-150kHz pada sisi beban berdasarkan nilai radiasi matahari terukur. Data yang diolah lalu dibandingkan dengan hukum ohm pada frekuensi dasar (50 Hz), apabila output solar panel tidak mengeluarkan tegangan, maka dilakukan kalibrasi alat ukur agar data yang didapatkan akurat. Apabila tidak dilakukan kalibrasi, maka data dianggap akurat dan dilakukan proses analisis *disturbansi* pada keluaran system solar panel pada frekuensi 9-150 kHz. Dalam suatu penelitian dibutuhkan konfigurasi rangkaian penelitian agar dapat menggambarkan suatu penelitian dengan terstruktur dan sistematis. Diagram alir ini menjadi gambaran sistem yang ada pada penelitian. Berikut ini adalah konfigurasi rangkaian dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 2. Konfigurasi sistem pengamatan

Pada penelitian ini matahari berperan sebagai sumber energi sehingga cahaya yang dihasilkan matahari akan dihitung nilainya oleh *Solar Power Meter* yang akan diolah di *laptop*, selain itu cahaya matahari tersebut akan dikonversi oleh solar panel menjadi energi listrik *Direct Current* (DC), keluaran solar panel akan dihubungkan ke *Sunny Boy Inverter* dan *Sunny Island Inverter* untuk mengubah Listrik *Alternating Current* menjadi DC, *Sunny Island Inverter* terhubung dengan *Utility Grid* agar dapat mengimpor ataupun mengeksport energi Listrik. Kedua Inverter tersebut dihubungkan dengan beban, setelah itu beban tersebut dihubungkan secara paralel dengan ke *High Pass Filter* untuk diukur menggunakan *picoscope*. *High Pass Filter* digunakan agar sinyal Listrik yang diterima hanya gelombang Listrik dengan frekuensi 9-150kHz. Data yang didapatkan pada *picoscope* diolah menggunakan *laptop* dengan bantuan software *Matlab* untuk mengubah sinyal yang didapat dalam domain waktu menjadi sinyal dengan domain frekuensi. Untuk mengubah sinyal domain

waktu menjadi domain frekuensi dibutuhkan Fast Fourier Transformation.

A. Fast Fourier Transformation

Observasi karakteristik disturbansi pada system ini dilakukan dengan menghitung sinyal elektrik. Pada penelitian ini sinyal pada domain waktu akan didapatkan lalu transformasi fourier akan digunakan untuk mengkonversi sinyal tersebut menjadi domain frekuensi.

Berdasarkan teorema Fourier, jumlah dari gelombang sinus atau cosinus memberikan gambaran gelombang periodik dari beberapa amplitud yang berbeda Dimana frekuensi dari setiap sinusoidal adalah perkalian integral dari frekuensi dasar yang disebut frekuensi harmonisa.

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} V_h\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_{h_{max}}^2} \quad (1)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} I_h\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_{h_{max}}^2} \quad (2)$$

$V_{1,2,3...max}$ = Tegangan sampling ke- 1,2,3...max

$I_{1,2,3...max}$ = Arus sampling ke- 1,2,3...max

h = nilai harmonisa ke-n .

Akar dari jumlah RMS kuadrat dari seluruh komponen akan menghitung nilai gelombang RMS. V_h dan I_h adalah amplitud dari gelombang harmonic komponen h. V_h and I_h semuanya bernilai nol pada kondisi sinusoidal murni dan hanya tersisa v_1 and i_1 .

Pada penelitian ini, fast fourier transformasi digunakan untuk menganalisa gelombang tegangan yang diukur dan mendapatkan amplitud frekuensi disturbansi. Dilakukan N sample x_n , yang diindex dengan $n = 0, 1, \dots, N-1$.

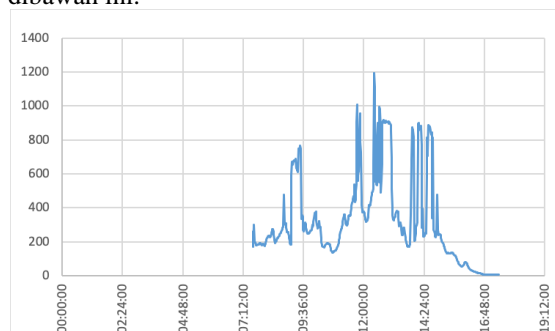
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini ditampilkan hasil pengamatan yang telah dilakukan sehingga diperoleh karakteristik disturbansi keluaran inverter di rentang frekuensi 9–150 kHz pada sistem photovoltaic. Hasil pengamatan ini diperoleh dari pengamatan Pengamatan sistem PV yang tidak terhubung oleh Grid (off-grid) dengan menggunakan tipe beban induktif

Setiap pengamatan memiliki lima variasi besar radiasi matahari yang menyinari sel surya dengan sistem yang terhubung dengan tipe beban yang bervariasi. Hasil penelitian ini berupa letak frekuensi dominan disturbansi yang dibangkitkan pada sistem, melihat pengaruh tipe beban induktif yang digunakan pada sistem PV terhadap besar tegangan disturbansi yang muncul pada keluaran inverter yang terhubung ke beban.

Pada pengamatan ini sistem PV tidak dihubungkan dengan grid atau berada pada kondisi off-grid, sedangkan tipe beban yang digunakan adalah tipe beban induktif dengan nilai induktor 0.7 H, resistor 220 Ω dan arus sebesar 1 A. Beban ini dihubungkan dengan keluaran GTI dengan tujuan melihat karakteristik disturbansi pada sistem PV dengan penggunaan beban tipe induktif.

Pengamatan dilakukan dengan cara mengukur nilai radiasi matahari menggunakan solar power meter dan mengukur nilai disturbansi dengan menggunakan picoscope. Pengamatan dilakukan selama satu hari dengan interval pengambilan data radiasi matahari dan data tegangan disturbansi pada sistem PV setiap satu menit. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, dapat dilihat data radiasi matahari yang direkam pada gambar dibawah ini.



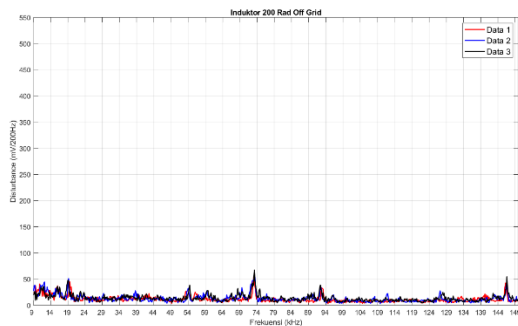
Gambar 7. Pengukuran radiasi matahari pada saat penelitian

1. Pengamatan sistem PV yang tidak terhubung oleh Grid (off-grid) dengan menggunakan tipe beban induktif pada radiasi A

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa karakteristik disturbansi sistem PV yang tidak terhubung oleh grid (off-grid) dengan menggunakan tipe beban induktif terjadi pada tiga frekuensi dominan yaitu 14-21 kHz, 69-79 kHz, dan 144-150 kHz. Gambar tersebut diambil pada saat radiasi matahari bernilai pada nilai sekitar 200 W/m².

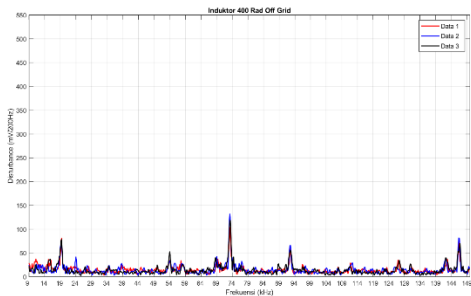
Data 1 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 208.2 W/m², Data 2 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 204.2 W/m², dan Data 3 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 209.2 W/m². Berdasarkan tiga data frekuensi dominan diatas, frekuensi disturbansi pada range 14-21kHz memiliki

tegangan peak sebesar 51.1 mV pada frekuensi 19.2 kHz, frekuensi disturbansi pada range 69-79 kHz memiliki tegangan peak sebesar 67.3 mV pada frekuensi 73.2 kHz, dan frekuensi disturbansi pada range 144-150 kHz memiliki tegangan peak sebesar 54.5 mV pada frekuensi 146.6 kHz.



Gambar 8. Spektrum frekuensi disturbansi pada radiasi $\pm 200 \text{ W/m}^2$ pada sistem PV off-grid dengan menggunakan tipe beban induktif

2. Pengamatan sistem PV yang tidak terhubung oleh Grid (*off-grid*) dengan menggunakan tipe beban induktif pada radiasi B

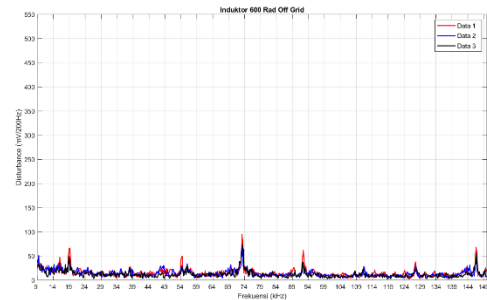


Gambar 9. Spektrum frekuensi disturbansi pada radiasi $\pm 400 \text{ W/m}^2$ pada sistem PV off-grid dengan menggunakan tipe beban induktif

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa karakteristik disturbansi sistem PV yang tidak terhubung oleh grid (*off-grid*) dengan menggunakan tipe beban induktif terjadi pada tiga frekuensi dominan yaitu 14-21 kHz, 69-79 kHz, dan 144-150 kHz. Gambar tersebut diambil pada saat radiasi matahari bernilai pada nilai sekitar 400 W/m^2 .

Data 1 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 417.9 W/m^2 , Data 2 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 415.1 W/m^2 , dan Data 3 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 426.7 W/m^2 . Berdasarkan tiga data frekuensi dominan diatas, frekuensi disturbansi pada range 14-21kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 81.2 mV pada frekuensi 19.4 kHz, frekuensi disturbansi pada range 69-79 kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 118.8 mV pada frekuensi 73.4 kHz, dan frekuensi disturbansi pada range 144-150 kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 81.7 mV pada frekuensi 146.4 kHz.

3. Pengamatan sistem PV yang tidak terhubung oleh Grid (*off-grid*) dengan menggunakan tipe beban induktif pada radiasi C



Gambar 10. Spektrum frekuensi disturbansi pada radiasi $\pm 600 \text{ W/m}^2$ pada sistem PV off-grid dengan menggunakan tipe beban induktif

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa karakteristik disturbansi sistem PV yang tidak terhubung oleh grid (*off-grid*) dengan menggunakan tipe beban induktif terjadi pada tiga frekuensi dominan yaitu 14-21 kHz, 69-79 kHz, dan 144-150 kHz. Gambar tersebut diambil pada saat radiasi matahari bernilai pada nilai sekitar 600 W/m^2 .

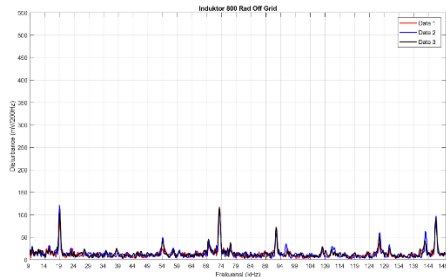
Data 1 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 621.9 W/m^2 , Data 2 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 620.6 W/m^2 , dan Data 3 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 610.6 W/m^2 . Berdasarkan tiga data frekuensi dominan diatas, frekuensi disturbansi pada range 14-21kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 66.6 mV pada frekuensi 19.2 kHz, frekuensi disturbansi pada range 69-79 kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 94.3 mV pada frekuensi 73.2 kHz, dan frekuensi disturbansi pada range 144-150 kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 68.5 mV pada frekuensi 146.6 kHz.

4. Pengamatan sistem PV yang tidak terhubung oleh Grid (*off-grid*) dengan menggunakan tipe beban induktif pada radiasi D

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa karakteristik disturbansi sistem PV yang tidak terhubung oleh grid (*off-grid*) dengan menggunakan tipe beban induktif terjadi pada tiga frekuensi dominan yaitu 14-21 kHz, 69-79 kHz, dan 144-150 kHz. Gambar tersebut diambil pada saat radiasi matahari bernilai pada nilai sekitar 800 W/m^2 .

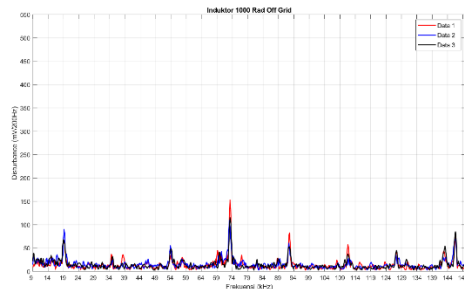
Data 1 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 817.4 W/m^2 , Data 2 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 759.8 W/m^2 , dan Data 3 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 769.5 W/m^2 . Berdasarkan tiga data frekuensi dominan diatas, frekuensi disturbansi pada range 14-21kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 121 mV pada frekuensi 19 kHz, frekuensi disturbansi pada range 69-79 kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 117.8 mV pada frekuensi 73.2 kHz, dan frekuensi disturbansi pada

range 144-150 kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 97.2 mV pada frekuensi 146.6 kHz.



Gambar 11. Spektrum frekuensi distorsi pada radiasi $\pm 800 \text{ W/m}^2$ pada sistem PV off-grid dengan menggunakan tipe beban induktif

5. Pengamatan sistem PV yang tidak terhubung oleh Grid (off-grid) dengan menggunakan tipe beban induktif pada radiasi E



Gambar 12. Spektrum frekuensi distorsi pada radiasi $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ pada sistem PV off-grid dengan menggunakan tipe beban induktif

Pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa karakteristik distorsi sistem PV yang tidak terhubung oleh grid (*off-grid*) dengan menggunakan tipe beban induktif terjadi pada tiga frekuensi dominan yaitu 14-21 kHz, 69-79 kHz, dan 144-150 kHz. Gambar tersebut diambil pada saat radiasi matahari bernilai pada nilai sekitar 1000 W/m^2 .

Data 1 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 911.9 W/m^2 , Data 2 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 912.4 W/m^2 , dan Data 3 diambil pada saat radiasi matahari bernilai 910 W/m^2 . Berdasarkan tiga data frekuensi dominan diatas, frekuensi distorsi pada range 14-21kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 89.9 mV pada frekuensi 19.2 kHz, frekuensi distorsi pada range 69-79 kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 153 mV pada frekuensi 73.2 kHz, dan frekuensi distorsi pada range 144-150 kHz memiliki tegangan *peak* sebesar 85 mV pada frekuensi 146.6 kHz.

Berdasarkan kelima pengamatan sistem PV yang tidak terhubung oleh Grid(off-grid) dengan menggunakan tipe beban induktif pada kelima variasi radiasi matahari diatas, dapat disimpulkan bahwa kenaikan radiasi matahari secara umum memiliki kecenderungan meningkatkan nilai

tegangan distorsi yang dikeluarkan oleh sistem PV, hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Berdasarkan Tabel 1 terlihat pada saat radiasi sekitar 200 W/m^2 nilai tegangan distorsi yg dihasilkan pada frekuensi 73.2 kHz sebesar 67.3 mV lalu naik menjadi 118 mV saat radiasi 400 W/m^2 tetapi mengalami penurunan menjadi 94.3 mV saat radiasi 600 W/m^2 lalu dilanjutkan dengan kenaikan terus menerus sampai radiasi sekitar 1000 W/m^2 dengan nilai tegangan distorsi menjadi 153 mV pada frekuensi yang sama yaitu 73.2 kHz. Berdasarkan tabel tersebut dapat disimpulkan juga bahwa tegangan distorsi terbesar dihasilkan pada range frekuensi 73.2-73.4 kHz.

Sedangkan pada saat frekuensi 19-21 kHz memiliki pola kenaikan pada radiasi 200 W/m^2 dengan nilai V_{peak} tegangan distorsi sebesar 51.1 mV menjadi 81.2 mV lalu dilanjutkan penurunan menjadi 66.6 mV saat radiasi 600 W/m^2 dilanjutkan dengan kenaikan menjadi 121 mV saat radiasi 800 W/m^2 dan dilanjutkan penurunan menjadi 89.9 mV saat radiasi 1000 W/m^2 . Sedangkan frekuensi 145-150 kHz memiliki pola yang sama dengan frekuensi 19-21 kHz.

Tabel 1 Hasil pengamatan sistem PV yang tidak terhubung oleh Grid (off-grid) dengan menggunakan tipe beban induktif

Radiasi (W/m^2)	Keterangan	Range Frekuensi (kHz)		
		19-21	69-74	145-150
200	Frek (kHz)	19.2	73.2	146.6
	V_{Peak} (mV)	51.1	67.3	54.5
400	Frek (kHz)	19.4	73.4	146.4
	V_{Peak} (mV)	81.2	118.8	81.7
600	Frek (kHz)	19.2	73.2	146.6
	V_{Peak} (mV)	66.6	94.3	68.5
800	Frek (kHz)	19	73.2	146.6
	V_{Peak} (mV)	121	117.8	97.2
1000	Frek (kHz)	19.2	73.2	146.6
	V_{Peak} (mV)	89.9	153	85

KESIMPULAN

Berdasarkan kelima pengamatan sistem PV yang tidak terhubung oleh Grid(off-grid) dengan menggunakan tipe beban induktif pada kelima variasi radiasi matahari diatas, dapat disimpulkan bahwa kenaikan radiasi matahari memiliki pola yang dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 terlihat pada saat radiasi sekitar 200 W/m^2 nilai tegangan distorsi yg dihasilkan pada frekuensi

73.2 kHz sebesar 67.3 mV lalu naik menjadi 118 mV saat radiasi 400 W/m² tetapi mengalami penurunan menjadi 94.3 mV saat radiasi 600 W/m² lalu dilanjutkan dengan kenaikan terus menerus sampai radiasi sekitar 1000 W/m² dengan nilai tegangan disturbansi menjadi 153 mV pada frekuensi yang sama yaitu 73.2 kHz. Berdasarkan tabel tersebut dapat disimpulkan juga bahwa tegangan disturbansi terbesar dihasilkan pada range frekuensi 73.2-73.4 kHz. Sedangkan pada saat frekuensi 19-21 kHz memiliki pola kenaikan pada radiasi 200 W/m² dengan nilai V_{peak} tegangan disturbansi sebesar 51.1 mV menjadi 81.2 mV lalu dilanjutkan penurunan menjadi 66.6 mV saat radiasi 600 W/m² dilanjutkan dengan kenaikan menjadi 121 mV saat radiasi 800 W/m² dan dilanjutkan penurunan menjadi 89.9 mV saat radiasi 1000 W/m². Sedangkan frekuensi 145-150 kHz memiliki pola yang sama dengan frekuensi 19-21 kHz.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh Politeknik Negeri Jakarta melalui program pendanaan Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agudelo-Martinez, D., Garzon, C. & Pavas, A., 2018. *Interaction of power quality disturbances within 2–150 kHz (supraharmonics): Analytical framework*. Ljubljana, IEEE.
- [2] David, P., Jose, A. S., Costa, S. & Joao, M. S., 2017. *Investigating the impact of solar cells partial shading on photovoltaic modules by thermography*. Washington DC, IEEE, pp. 1979-1983.
- [3] Dubey, R. et al., 2015. *Measurement of temperature coefficient of photovoltaic modules in field and comparison with laboratory measurements*. New Orleans, IEEE.
- [4] Grevener, A., Meyer, J. & Rönnerberg, S., 2020. Comparison of Measurement Methods for the Frequency Range 2–150 kHz (Supraharmonics) Based on the Present Standards Framework. *IEEE Access*, Volume 8, pp. 77618 - 77630.
- [5] Hiren, P. & Vivek, A., 2008. MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23(1), pp. 302-310.
- [6] Rajput, S. K., 2017. SOLAR ENERGY Fundamentals, Economic and Energy Analysis. In: Ghaziabad: NITRA, pp. 1-7.
- [7] Malek, H. & Chen, Y., 2014. BICO MPPT: A Faster Maximum Power Point Tracker and Its Application for Photovoltaic Panels. *International Journal of Photoenergy*, Volume 2014.
- [8] Priyadarshi, S., Bhaduri, S. & Shiradkar, N., 2018. *IoT Based, Inexpensive System for Large Scale, Wireless, Remote Temperature Monitoring of Photovoltaic Modules*. Waikoloa, IEEE.
- [9] Quasching, V., 2005. *Understanding Renewable Energy Systems*. London: Earthscan.
- [10] Ritzman, D. et al., 2020. Comparison of Measurement Methods for 2–150-kHz Conducted Emissions in Power Networks. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume 70.
- [11] Samah, L., Mouna, B. & Lassaad, S., 2017. *Analysis of shading effects on a photovoltaic array*. Hammamet, IEEE, pp. 1-5.
- [12] Sandrolini, L., Thomas, D. W. P., Sumner, M. & Rose, C., 2018. *Measurement and Evaluation of the Conducted Emissions of a DC/DC Power Converter in the Frequency Range 2–150 kHz*. Long Beach, IEEE.
- [13] Schuepbach, E. et al., 2015. *Swiss Energy Strategy 2050: Research on Photovoltaic Electricity Production*. Monte Carlo, IEEE.
- [14] Sudiarto, B., 2017. *The Properties and Behavior of Disturbances in the Frequency Range 9 kHz to 150 kHz Produced by Household Appliances in a Residential Network Environment*, Duisburg: ETS University Duisburg Essen.
- [15] Sudiarto, B., Widyanto, A. N. & Hirsch, H., 2016. *Effect of Standby Mode Operation of Some Household Appliances on Disturbance Voltage and Current in Frequency Range of 9-150 kHz Produced by Other Equipment in Low Voltage Network*. Wroclaw, IEEE, pp. 722-725.
- [16] Syed, D., Gitanjali, M. & Vinod, K. Y., 2017. *Assessing the performance of partially shaded photovoltaic array under different radiations*. Delhi, IEEE, pp. 1-3.
- [17] Tiandho, Y. et al., 2018. Accurate Model for Temperature Dependence of Solar Cell Performance According to Phonon Energy Correction. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 55(5), pp. 15-25.
- [18] Wu, W., Zhang, C., Su, J. & Wang, H., 2015. *The Design of New High Efficiency Photovoltaic Grid and Independent Power Supply Inverter*. Jabalpur, IEEE.
- [19] Yaghoobi, J., Zare, F., Rehman, T. & Rathnayake, H., 2019. *Analysis of High Frequency Harmonics in Distribution Networks : 9 - 150 kHz*. Melbourne, IEEE.
- [20] Zhuang, S., Zhao, W., Wang, Q. & Huang, S., 2018. *A New Measurement Method for Supraharmonics in 2–150 kHz*. Paris, IEEE.