

Analisis Kualitas Daya Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Mini-Grid

Lory Marcus Parera¹, Marselin Jamlaay², Alven F. Lokollo³

^{1,2,3}*Teknologi Rekayasa Sistem Kelistrikan Migas/Teknik Elektro– Politeknik Negeri Ambon*

¹lorymarc8@gmail.com, ²marselin90@gmail.com, ³alvenlokollo563@gmail.com.edu

Abstract - Solar power plants have problems with the quality of electrical power generated in the process of switching on inverters or non-linear loads. Electrical power quality is an important aspect of the power system. Electric power quality is an important aspect of the electric power system. review and measurement of the quality of electric power on solar power plants in the Pungao Pattimura Mini-grid Laboratory to find out whether the level of harmonics that occurs exceeds the applicable standards. This research was conducted with a quantitative method by direct observation to obtain data on voltage, current and power generated by PLTS against the load. Measurements with a power analyzer tool for a period of 6 hours, namely 09.00 WIT to 15.00 WIT. The measurement results on days 1 to 3 found current wave distortion disturbances and high THD I, especially in odd-order harmonics which have a maximum value of 1 to 3 hours. For 3 days the measurement of 107% exceeded the SPLN standard set and there was voltage on the neutral flow of the installation. With the occurrence of large enough harmonics in PLTS, recommendations are given by installing passive filters and mathematical calculations to eliminate harmonics and improve the power factor using. The results of the calculation obtained an improvement in the power factor from 0.5 to 0.85.

Keywords: Solar power plants, renewable energy, power quality

Abstrak - PLTS memiliki permasalahan pada kualitas daya listrik yang dihasilkan pada proses switch pada inverter atau beban-beban non-linear. Kualitas daya listrik merupakan aspek yang penting dari sistem tenaga listrik. peninjauan dan pengukuran kualitas daya listrik pada PLTS di Laboratorium Mini-grid Pungao Pattimura untuk mengetahui apakah tingkat harmonisa yang terjadi melebihi standar yang berlaku. Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif dengan cara *direct observation* untuk mendapatkan data tegangan, arus dan daya yang dihasilkan PLTS terhadap beban. Pengukuran dengan alat power analyzer pada jangka waktu 6 jam yaitu pukul 09.00 WIT hingga 15.00WIT. Hasil pengukuran pada hari ke -1 hingga ke-3 menemukan gangguan distorsi gelombang arus dan tingginya THD I khususnya pada orde ganjil harmonisa yang memiliki nilai maksimal. Selama 3 hari pengukuran sebesar 107 % melebihi standar SPLN yang ditetapkan serta adanya tegangan pada aliran netral instalasi. Dengan terjadinya harmonisa yang cukup besar pada PLTS, maka diberikan rekomendasi dengan pemasangan filter pasif dan perhitungan secara matematis untuk mengeliminasi harmonisa serta memperbaiki faktor daya dengan menggunakan. Hasil perhitungan didapat perbaikan faktor daya dari 0.5 menjadi 0.85

Kata kunci: plts, energi terbarukan, kualitas daya

I. PENDAHULUAN

Dengan potensi energi matahari di indonesia sebesar 207 GWp pemanfaatan energi menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) diharapkan dapat membantu dalam menanggulangi kebutuhan energi listrik yang besar dan terus meningkat di indonesia [1]. Implementasinya PLTS memiliki permasalahan pada kualitas daya listrik yang dihasilkan akibatkan proses switch pada inverter atau beban - beban non-linear [2]. Kualitas daya ditentukan oleh keandalan transmisi energi listrik yang mencerminkan parameter tegangan, frekuensi, frekuensi, keseimbangan , dan bentuk gelombang [3].

Peninjauan dan pengukuran kualitas daya listrik pada PLTS di Laboratorium Mini-grid Pungao Pattimura untuk mengetahui kualitas daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya dan menemukan gangguan atau fenomena kualitas daya listrik serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan kualitas daya listrik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas Daya

Kualitas daya listrik adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk memberikan arus listrik yang stabil dan berdaya dengan minimnya gangguan. Kualitas daya listrik terdiri dari beberapa parameter seperti tegangan, arus, frekuensi, harmonisa, pemutusan dan interupsi dengan Parameter yang mempengaruhi kualitas daya listrik yaitu, daya listrik dan faktor daya[4].

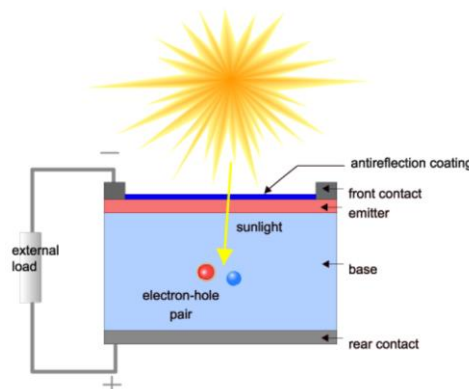
2.2 Jenis – Jenis Permasalahan Kualitas daya

Terdapat gejala-gejala atau fenomena-fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik yang menjadi penyebab permasalahan kualitas daya listrik. Permasalahan kualitas daya disebabkan oleh gejala elektromagnetik yaitu :

1. Gejala Peralihan (Transient), yaitu terjadinya perubahan variabel (tegangan, arus dan lain - lain) pada saat masa transisi dari keadaan tunak (steady state) menjadi keadaan yang lain.
2. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Pendek (*Short-Duration Variations*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan yang terjadi dalam waktu yang singkat kurang dalam satu menit.
3. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang (*Long-Duration Variations*), Yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan, dalam waktu yang lama lebih dari satu menit.
4. Ketidakseimbangan Tegangan, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
5. Distorsi Bentuk Gelombang, adalah gejala penyimpangan dari suatu gelombang (tegangan dan arus) dari bentuk idealnya berupa gelombang sinusoidal.
6. Fluktuasi Tegangan dan *Flicker*, adalah gejala perubahan besarnya tegangan secara sistematis.
7. Gejala Perubahan Frekuensi daya, adalah gejala penyimpangan frekuensi daya listrik pada suatu sistem tenaga listrik

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah sistem pembangkit listrik yang mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik [5].

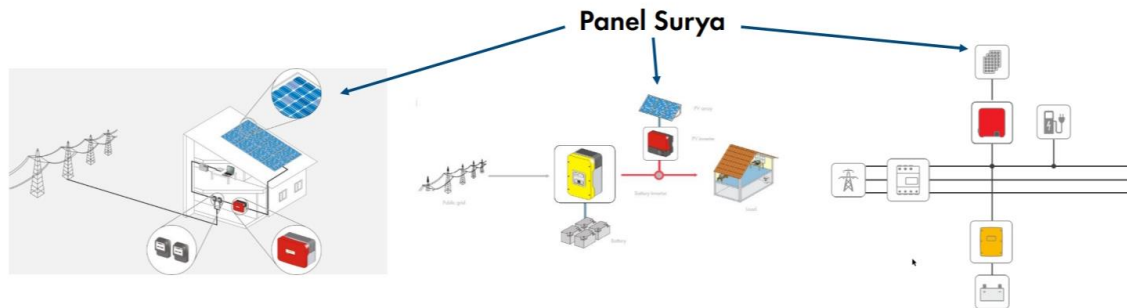


Gambar 1. Proses konversi energi matahari

Sel surya adalah perangkat elektronik yang secara langsung mengubah sinar matahari menjadi listrik. Cahaya yang menyinari sel surya menghasilkan arus dan tegangan untuk menghasilkan tenaga listrik. Proses ini membutuhkan, pertama, bahan di mana penyerapan cahaya meningkatkan elektron ke kondisi energi yang lebih tinggi, dan kedua, pergerakan elektron berenergi lebih tinggi ini dari sel surya ke sirkuit eksternal.

2.3.1 PLTS On-Grid

PLTS *On-Grid* atau *grid-interactive photovoltaic power system* adalah jenis pengoperasian sistem PLTS yang hasil dari pembangkitannya dapat disalurkan ke jaringan listrik yang sudah ada dalam hal ini jaringan listrik PLN. Secara umum komponen utama dalam sistem ini adalah inverter, atau *Power Conditioning Unit (PCU)* [6].

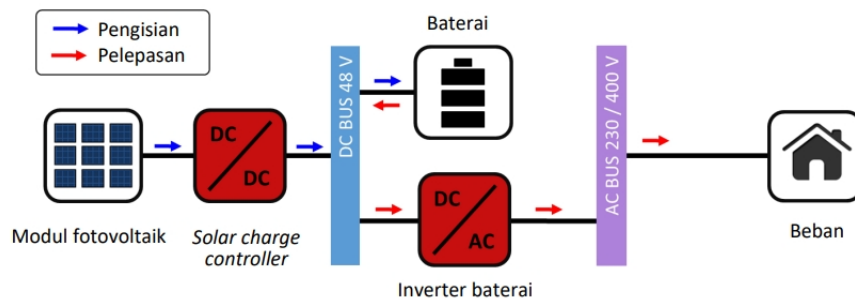


Gambar 2. Skema Diagram PLTS On Grid

2.3.2 PLTS Off-Grid

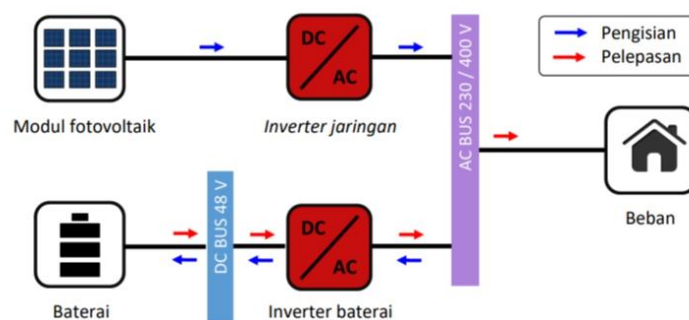
Sistem PLTS *Off-grid* merupakan suatu sistem PLTS yang berdiri sendiri (*Stand-alone*), Beroperasi secara independen, dan tidak terhubung ke jaringan listrik PLN. Sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan enegri listrik yang dihasilkan di siang hari guna memenuhi kebutuhan listrik pada malam hari.

Terdapat dua Konfigurasi sistem PLTS *Off-grid* yang umum digunakan, yaitu sistem penyambungan AC (*AC-Coupling*) dan sistem penyambungan DC (*DC-Coupling*). Inverter [5]



Gambar 3. Sistem PLTS DC Coupling

Sistem dianggap memiliki konfigurasi penyambungan sistem DC (DC-coupling) jika komponen utamanya terhubung di bus DC. Daya listrik dibangkitkan oleh modul fotovoltaik dan digunakan untuk mengisi baterai melalui solar charge controller. SCC adalah pengonversi DC-DC untuk menurunkan tegangan modul fotovoltaik ke level tegangan baterai yang juga dilengkapi dengan maximum power point tracker (MPPT) untuk mengoptimalkan penangkapan energi



Gambar 3. Sistem PLTS AC Coupling

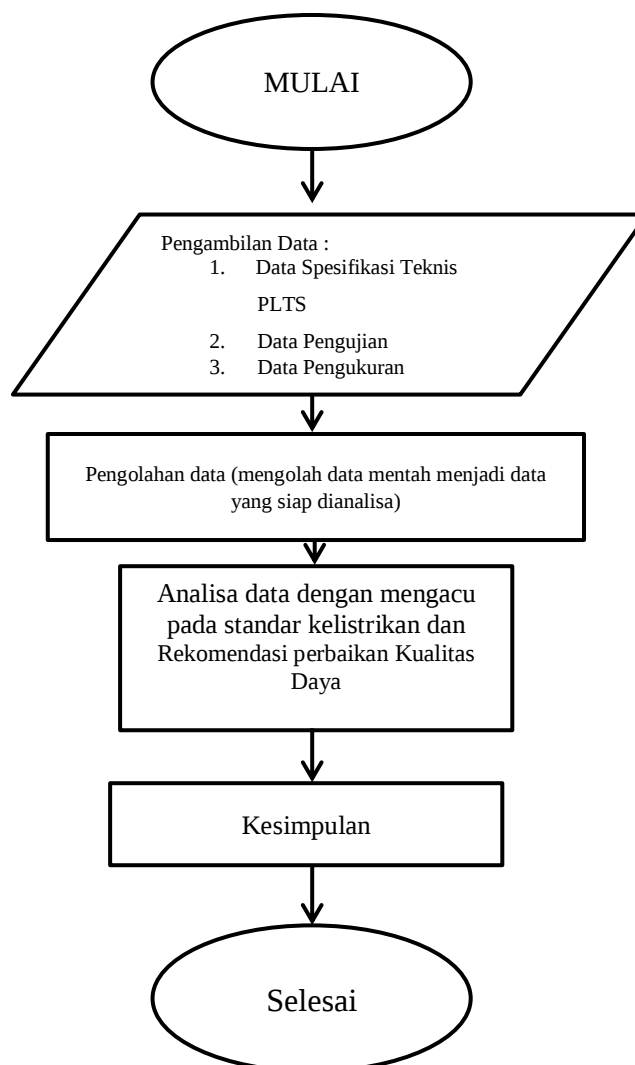
Berbeda dengan sistem DC-coupling, inverter baterai dalam sistem AC-coupling bekerja secara dua arah (*bidirectional*). Alat ini berfungsi sebagai pengatur pengisian baterai (*charger*) ketika radiasi sinar matahari cukup, beban terpenuhi, dan baterai belum terisi penuh (*SoC* rendah). Ketika beban melampaui jumlah daya masukan modul fotovoltaik, biasanya pada malam hari atau saat hari sedang berawan, maka inverter baterai akan beralih menjadi inverter mengubah arus DC-AC sehingga energi dari baterai dapat digunakan untuk memenuhi permintaan beba

2.4 Alat Ukur Power Analyzer

Power quality analyzer adalah suatu peralatan ukur yang digunakan untuk mengetahui kualitas daya dari tenaga listrik. Alat ini sangat kompleks, karena dapat mengukur tegangan, arus listrik, frekuensi, daya kompleks, daya aktif, daya reaktif dan factor daya[7].

III. METODE

Adapun jenis penelitian yang akan dilakukan adalah Metode penelitian Kuantitatif dengan cara penelitian langsung atau biasa disebut *direct observation*. Penelitian diawali dengan pengambilan data secara langsung kemudian melakukan analisis data. Penelitian ini akan dilakukan pengambilan data spesifikasi teknis, data pengujian, data tegangan, arus dan daya yang dihasilkan PLTS terhadap beban Laboratorium Mini-Grid Pungao Pattimura. Dilanjutkan dengan pengolahan data dan analisa kualitas daya yang dihasilkan PLTS pada Laboratorium Mini-Grid Pungao Pattimura mengacu pada standar SPLN. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mini-Grid Pungao Pattimura Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Kec.Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku. Pelaksanaan pengukuran dilakukan pada 2-7 Agustus 2023.



Gambar 4. Flowchart Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1 Deskripsi PLTS *Mini-Grid* Pungao Pattimura

Kapasitas : 5.6 kWp

PV Module : *Monocrystalin* 14×405W

Inverter : 2 SMA Sunny Boy on-grid dan 1 SMA Sunny Island Battery.

Battery : *Lithium – ion* 15 kWh



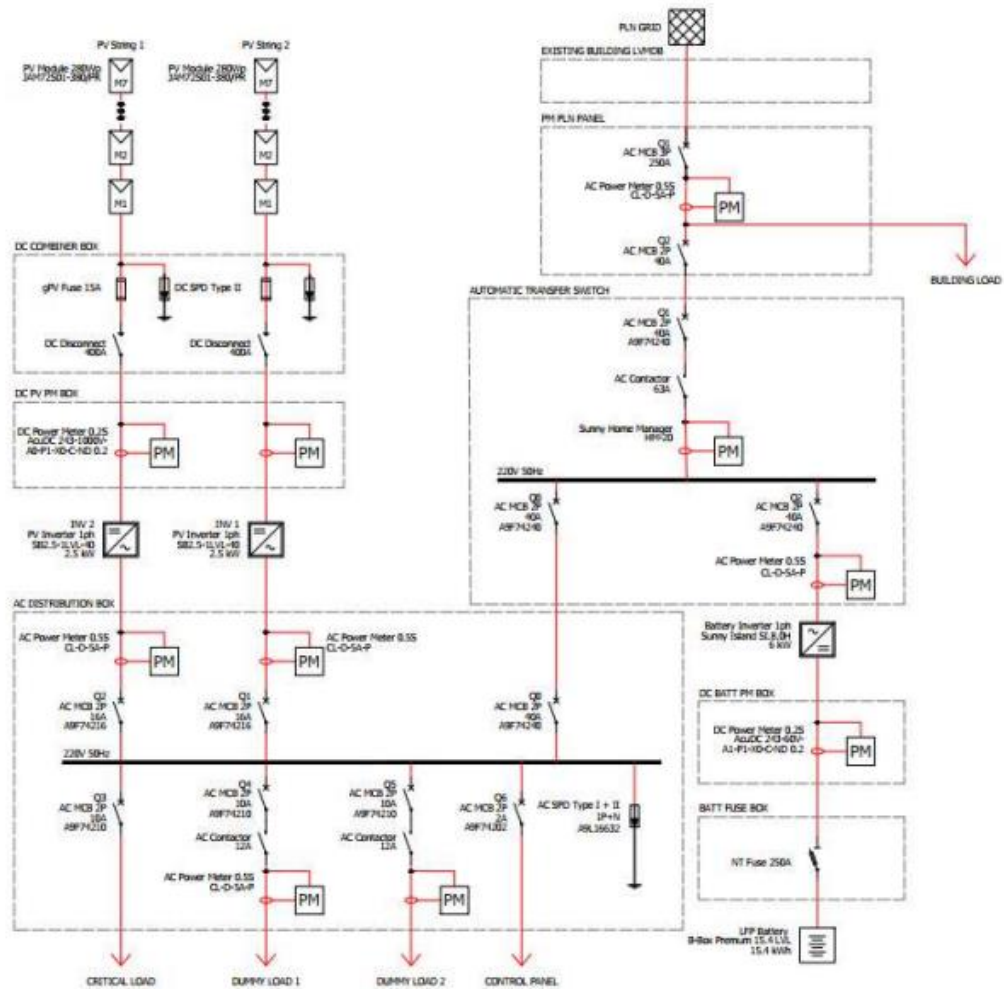
Gambar 5. PV Modul Lab PLTS *Mini-Grid* Pungao Pattimura
Sumber : SYNTEK, 2021

Pada PLTS mini-grid pungao pattimura digunakan panel surya berjenis *monocrystalline* silicon dengan jumlah 14 modul .



Gambar 6. Modul – modul Lab PLTS *Mini-Grid* Pungao Pattimura

4.1.2 Single Line Diagram



Gambar 7. Single Line Diagram

Pada gambar 7 di atas dapat dilihat bahwa PLTS ini memiliki jaringan on-grid namun memiliki battery yang di hubungkan langsung ke jaringan PLN

4.1.3 Data Pengukuran

Pengukuran dilakukan selama 3 hari dalam jangka waktu 6 jam perhari dalam rentang 9.00 - 15.00 WIT. Pengukuran pada Tanggal 3, 4 dan 7 agustus. Pengukuran dilakukan pada pagi hingga sore hari dikarenakan menyesuaikan dengan kondisi radiasi matahari pada PLTS.

Tabel 1
Hasil Pengukuran Keseluruhan

Hari Pengukuran	Rata – rata Tegangan 1 Fasa	Faktor daya (Cos μ)	Rata rata frekuensi
Hari ke-1	227.45 V	0.87	50 Hz
Hari ke-2	229.53 V	0.5	50 Hz
Hari-ke-3	227.91 V	0.9	50 z

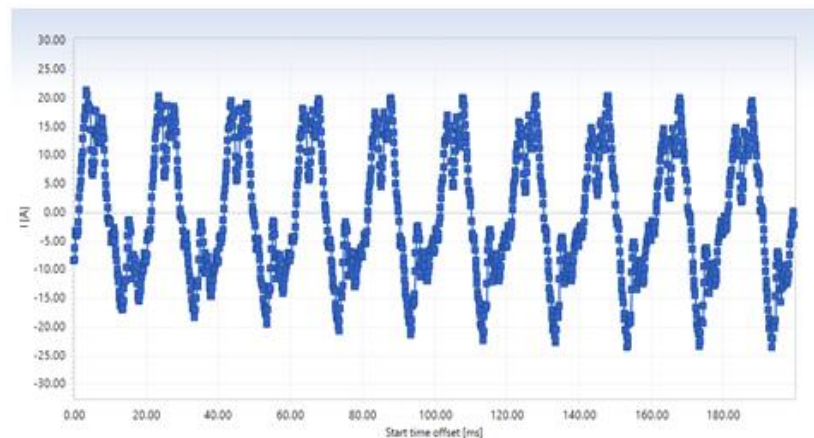
1. Hasil Pengukuran Hari Ke-1

Hasil pengukuran yang didapat pada hari ke – 1 pada 3 agustus 2023. Didapati tabel hasil pengukuran waveform arus dan diagram bar harmonisa arus .

Tabel 2
Hasil pengukuran hari Ke - 1

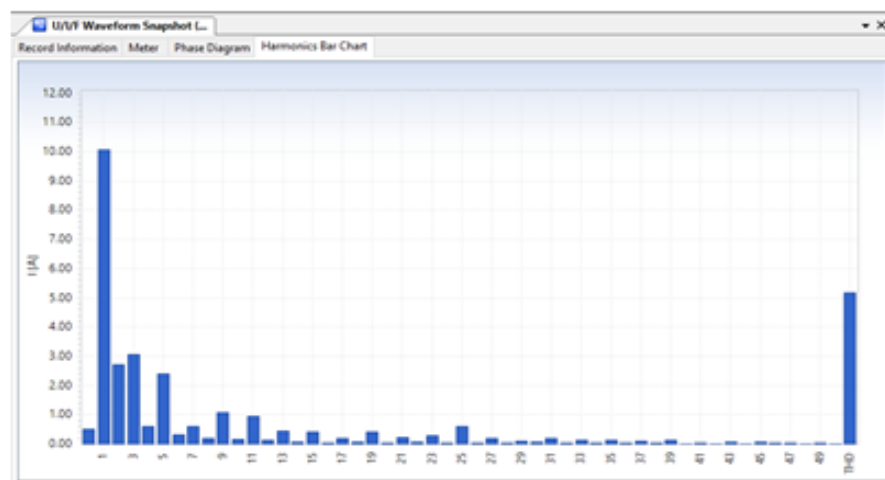
Symbol	Nama	Fasa	Netral	Ket
V	Tegangan	227.45	6.4831	V
I	Arus	11.390	0.0302	A
F	Frekuensi	50.027	-	Hz
THD V	Tegangan THD	2.6761	0.4661	V
THD V	Tegangan THD	1.1779	7.2827	%
THD I	Arus THD	5.1679	0.0484	A
THD I	Arus THD	51.318	28.415	%
P	Daya Aktif	2258.2	-	W
N	Daya Reaktif	141.97	-	VAR
S/Sc	Daya Semu	2590.65	-	VA
PF	Faktor Daya	0.8717	-	-

Pada tabel 2 hasil pengukuran hari ke 1 terdapat nilai tegangan, arus frekuensi dan lain – lain. Yang menjadi perhatian adalah THD arus yang mencapai 51%. Pada tabel 8 ini juga ditunjukkan faktor daya 8.7.



Gambar 8. Waveform arus

Untuk THD arus pada tabel 8 divisualisasikan pada gambar 9 yang menyatakan distorsi gelombang dan gambar 4.4 diagram bar harmonisa yang di temukan harmonisa pada orde 1, 2,3, dan 5



Gambar 9. Diagram Bar Hamonisa Arus

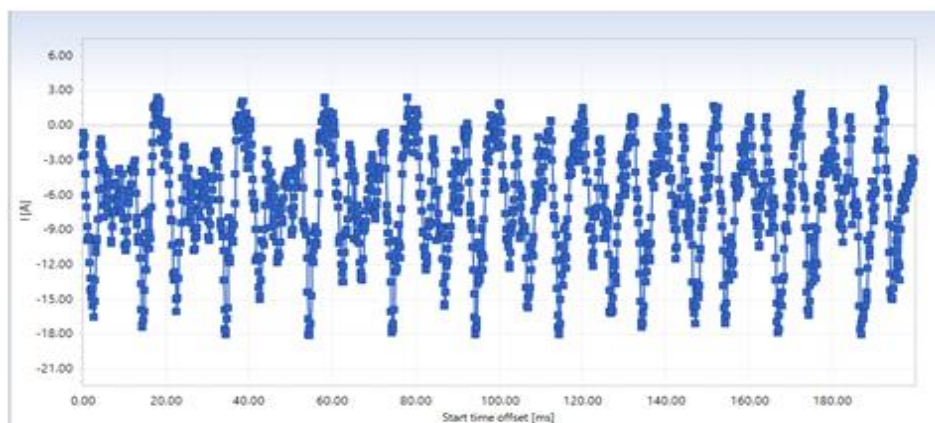
2. Hari Pengukuran kedua

Hasil pengukuran yang didapat pada hari ke – 2 pada 4 agustus 2023. Didapati hasil pengukuran , waveform dan diagram bar harmonisa.

Tabel 3
Hasil Pengukuran Hari Ke-2

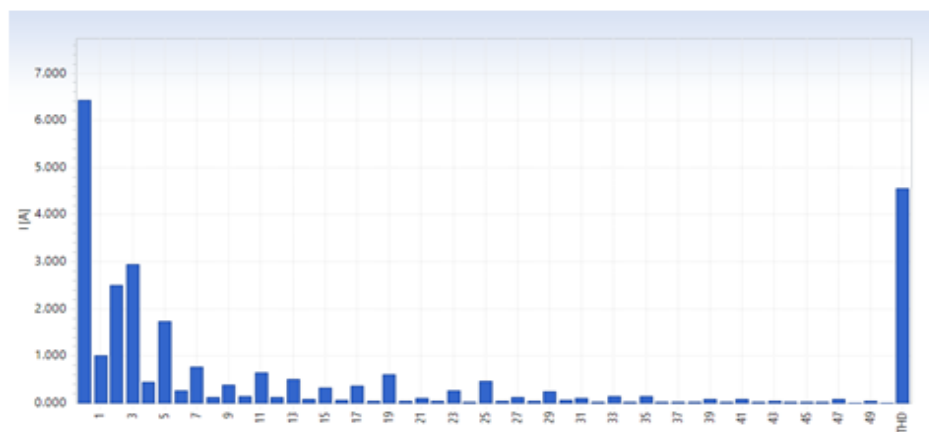
Symbol	Nama	L1	LN	Ket
V	Tegangan	229.53	8.0389	V
I	Arus	8.1479	0.0000	A
F	Frekuensi	50.049	-	Hz
THD V	Tegangan THD	2.4450	0.6066	V
THD V	Tegangann THD	1.0665	7.6307	%
THD I	Arus THD	4.5577	0.0000	A
THD I	Arus THD	45.284	0.0000	%
P	Daya Aktf	928.1	-	W
N	Daya Reaktif	102.4	-	VAR
S/Se	Daya Semu	1870.2	-	VA
PF	Faktor Daya	0.5	-	-

Pada tabel 3 hasil pengukuran hari ke- 2 pada aliran Netral terdapat tegangan yang menunjukkan adanya kegagalan isolasi seperti hasil pengukuran hari ke-1. Nilai THD I sebesar 45% dan memiliki faktor daya sebesar 0.5.



Gambar 10. Waveform Arus

Pada gambar 10 di atas dapat dilihat distorsi gelombang arus pada hasil pengukuran waveform arus dan dilanjutkan dengan pengecekan harmonisa arus yang tunjukan pada gambar 11 diagram bar harmonisa arus.



Gambar 11. Diagram Bar Hamonisa Arus

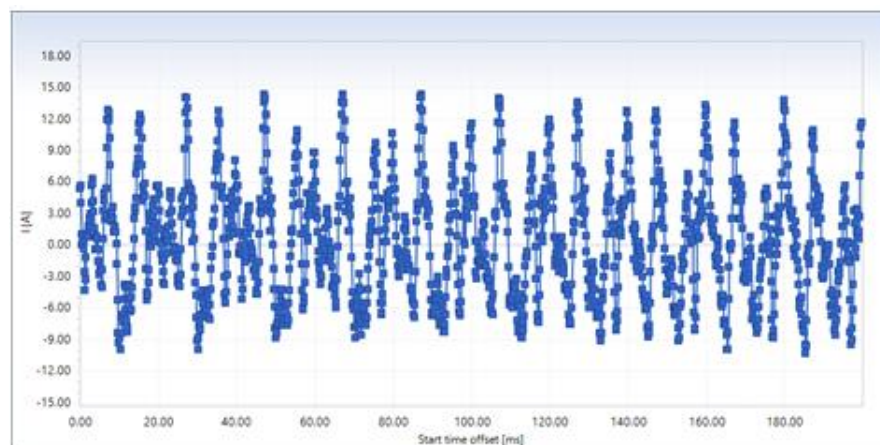
3. Hasil pengukuran hari ke-3

Hasil pengukuran yang didapat pada hari ke – 3 pada 7 agustus 2023. Didapati tabel hasil pengukuran, Waveform dan diagram bar harmonisa.

Tabel 4
Hasil Pengukuran Hari Ke-3

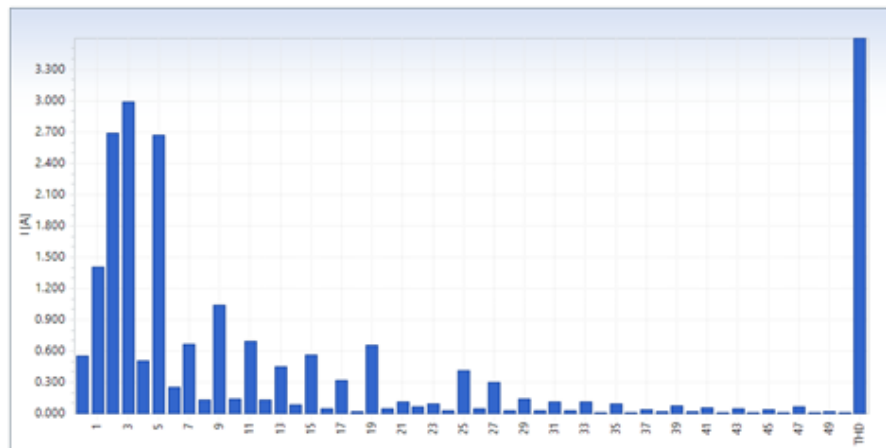
Symbol	Nama	Fasa	Netral	Ket
V	Tegangan	227.91	6.1299	V
I	Arus	5.5819	0.0000	A
F	Frekuensi	50.037	-	Hz
THD V	THD Tegangan	2.8764	0.5204	V
THD V	THD Tegangan	1.2637	8.6148	%
THD I	THD Arus	5.2029	0.0000	A
THD I	THD Arus	107.28	0.0004	%
P	Daya Aktf	1270.2	-	KW
N	Daya Reaktif	69.71	-	KVAR
S/Se	Daya Semu	1272.1	-	KVA
PF	Faktor Daya	0.9	-	-

Pada hasil pengukuran hari ke- 3 pada aliran Netral masih terdapat tegangan yang menunjukkan adanya kegagalan isolasi dari konduktor atau peralatan listrik serta tingginya THD I sebesar 107% namun pada hasil pengukuran hari ke-3 nilai faktor daya tergolong baik. Pada hasil pengukuran dengan alat ukur mendapat *waveform* arus sebagai berikut;



Gambar 12. Waveform Arus

Untuk hasil pengukuran hari ke-3 masih didapati distorsi harmonik arus menandakan gangguan kualitas daya pada sistem PLTS. dilakukan pengecekan terhadap diagram bar harmonisa arus dengan hasil sebagai berikut :

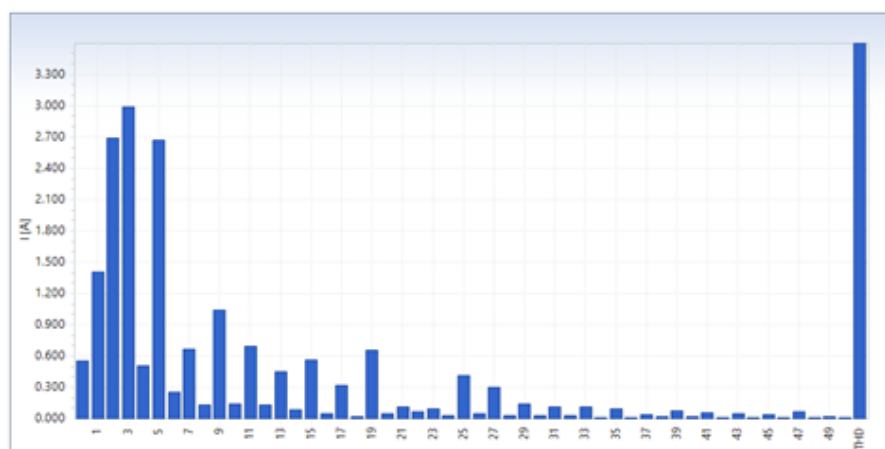


Gambar 13 diagram bar harmonisa arus

Gambar 12 menunjukkan hasil harmonisa yang cukup tinggi pada orde 1, 2, 3 dan 5. Hasil diagram bar ini sesuai dengan nilai THD I pada tabel 4.

4.2. Pembahasan

Dalam hasil pengukuran dari hari Ke- 1 hingga ke- 3 didapati gangguan kualitas daya listrik yang dominan yaitu distorsi harmonik arus yang muncul pada orde 1, 3 dan 5 . Adapun gangguan pada aliran netral yaitu adanya nilai tegangan pada hasil pengukuran yang dapat disebabkan oleh adanya kegagalan isolasi pada konduktor maupun peralatan listrik. Nilai THD arus hasil pengukuran hari ke-1 hingga ke-3 didapati melewati batas standar yang ditetapkan SPLN 2012. Pada standar yang ditetapkan PLN sebesar 5% [8] namun dari hasil pengukuran di dapat THD maksimal pada hari ke-3 pengukuran sebesar 107% seperti digambarkan pada diagram bar di bawah ini.



Gambar 14. diagram bar harmonisa arus hari ke - 3

Tingginya harmonisa arus ini dapat mengakibatkan gangguan seperti panas pada kawat netral dan rugi –rugi sistem pada PLTS tersebut atau bahkan mengakibatkan tingginya arus pada line-netral melebihi line-fasa. Jika dilihat dalam hasil pengukuran harmonisa arus adapun harmonisa pada orde ke - 3 dan ke - 5 yang cukup tinggi, maka direkomendasikan adanya filter pasif untuk mengeliminasi harmonisa pada salah satu orde tersebut agar nilai harmonisa yang di hasilkan PLTS dapat di .

Filter pasif dapat mengeliminasi harmonisa salah satu jenisnya adalah single tuned pasif filter yang terdiri dari rangkaiann seri kapasitor reaktor dan resistor (RLC). Pada prinsipnya, sebuah *single tuned pasif filter* dipasang untuk setiap harmonik yang akan dihilangkan. Filter –filter ini dihubungkan pada busbar yang memiliki harmonisa untuk dieliminasi. Pada hasil pengukuran pada penelitian ini ditemukan adanya harmonisa pada ketiga hari hasil pengukuran dengan alat ukur, maka dilakukan perencanaan *Single-Tunned pasif Filter* secara matematis sebagai bahan rekomendasi dengan menggunakan data pengukuran hari ke – 2 sebagai berikut:

Data pengukuran hari ke- 2 digunakan dalam perencanaan filter ini. Filter pasif akan di rancang untuk orde ke 3 dan 5

1. Perancangan filter pasif orde 3 :

Daya aktif : 928.1 W

Tegangan : 229.53 V

Faktor daya : 0.5

a. Menentukan P_{Fo} dan PF

$$P_{Fo} = 0.5 \quad \varphi = 60^\circ$$

$$PF = 0.85 \quad \varphi = 31^\circ$$

b. Menentukan daya reaktif

$$\begin{aligned} Q_c &= P (\tan \varphi_{awal} - \tan \varphi_{akhir}) \\ &= 928.1 (1.73 - 0.60) \\ &= 1048.753 \text{ VAR} \end{aligned}$$

c. Menentukan nilai kapasitor

$$X_C = \frac{V^2}{Q_c} = \frac{229.53^2}{1048.753} = 50.23 \, \Omega$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 50.23} = 63.4 \, \mu F$$

d. Menentukan nilai indikator

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} = \frac{50.23}{3^2} = 5.58 \, \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 \times \pi \times f} = \frac{5.58}{2 \times 3.14 \times 50} = 1.7 \text{ mH}$$

2. Perancangan filter pasif orde 5 :

a. Menentukan P_{Fo} dan PF

$$P_{Fo} = 0.5 \quad \varphi = 60^\circ$$

$$PF = 0.85 \quad \varphi = 31^\circ$$

b. Menentukan daya reaktif

$$\begin{aligned} Q_c &= P (\tan \varphi_{awal} - \tan \varphi_{akhir}) \\ &= 928.1 (1.73 - 0.60) \\ &= 1048.753 \text{ VAR} \end{aligned}$$

c. Menentukan nilai kapasitor

$$X_C = \frac{V^2}{Q_c} = \frac{229.53^2}{1048.753} = 50.23 \, \Omega$$

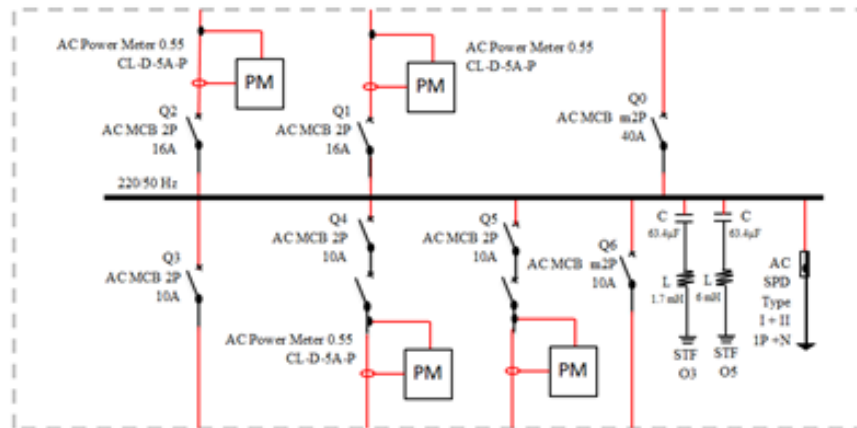
$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 50.23} = 63.4 \, \mu F$$

d. Menentukan nilai indikator

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} = \frac{50.23}{5^2} = 2.00 \, \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 \times \pi \times f} = \frac{2.00}{2 \times 3.14 \times 50} = 6 \text{ mH}$$

Dari hasil perhitungan perancangan filter pasif untuk orde 3 dan 5 di atas dilakukan di harapkan dapat memperbaiki faktor daya dari 0.5 menjadi 0.85 akibat dari harmonisa arus dengan posisi filter pasif sebagai berikut :



Gambar 15. Single Line- Diagram Dengan Single Tunned Filter

V. PENUTUP

Berdasarkan data dan analisa diatas, didapati bahwa kualitas daya pada pembangkit listrik tenaga surya pada laboratorium punggol pattimura dapat disimpulkan bahwa pada instalasi PLTS dengan adanya inverter dan beban –beban non linear memunculkan harmonisa arus yang dominan pada orde 3 dan 5 dengan THD arus hari ke-1 sebesar 51 %, hari ke-2 sebesar 45%, dan hari ke-3 sebesar 107% yang melewati standar yang ditetapkan. *Single tuned pasif filter* dirancang sebagai rekomendasi untuk meredam besarnya harmonisa arus orde 3 dan 5. Terdapat nilai tegangan pada *line-neutral* yang diakibatkan kegagalan isolasi peralatan dan konduktor pada instalasi. maka disarankan Melakukan pemasangan filter pasif pada instalasi sesuai dengan perancangan di atas untuk meredam harmonisa arus atau juga melakukan perancangan dan pemasangan filter aktif untuk hasil yang lebih baik . Pada instalasi harus dilakukan pengecekan isolasi maupun peralatan untuk meredam adanya tegangan pada line-neutral. Untuk mengantisipasi gangguan – gangguan kualitas daya pada waktu yang akan datang perlu diperhatikan perawatan instalasi dan pengukuran kualitas daya secara berkala agar tidak terjadinya kerusakan peralatan PLTS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Afif dan A. Martin, “Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 6, no. 1, hal. 43, 2022, doi: 10.30588/jeemm.v6i1.997.
- [2] A. W. Hasanah, T. Koerniawan, dan Y. Yuliansyah, “Kajian Kualitas Daya Listrik PLTS Sistem Off-Grid Di STT-PLN,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, hal. 93–101, 2019, doi: 10.33322/energi.v10i2.211.
- [3] L. M. Parera, M. A. F. Haurissa, M. Jamlay, dan P. N. Ambon, “Power quality analysis at building of politeknik negeri ambon,” vol. 3, no. 01, hal. 99–108, 2022.
- [4] M. Mustamam, A. Lubis Rizky, A. Butar-Butar Hakim, dan M. Affandi, *Kualitas Daya Pada Sistem Tenaga Listrik - Google Books*. 2021. Diakses: 14 Maret 2023. [Daring]. Tersedia pada: https://www.google.co.id/books/edition/Kualitas_Daya_Pada_Sistem_Tenaga_Listrik/O2MWEAAQBAJ?hl=id&gbpv=0
- [5] B. Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don ' ts*. 2018.
- [6] A. Susanto, “Desain sistem Terkoneksi Jaringan (Grid Connected System),” *Renewable Energy Skills Development (RESK)*, vol. 15, hal. 39, 2021.
- [7] METREL, *Power Quality Analysing and Troubleshooting Procedures*, no. 20. METREL, 2016.
- [8] SPLN, *SPLN D5.004-1: 2012 POWER QUALITY*, no. 563. 2012.