

SIMULASI PENETRASI PLTS ATAP YAYASAN TUNAS MANUNGGAL KAPASITAS 107 KWP KE GRID PLN 20 KV

Deni Nurul Huda¹⁾, dan Gunawan²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Kaligawe Raya No 4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112
e-mail: deninurullhuda@gmail.com¹⁾, gunawan@unissula.ac.id²⁾

ABSTRACT

Along with changes in PLN regulations, the demand for rooftop solar PV (PLTS) permit applications under on-grid systems has increased due to the decreasing cost of equipment. Yayasan Tunas Manunggal has installed a 107 kWp rooftop solar PV system with a contractual power of 865 kVA supplied from PLN Substation PJ096. One of the main challenges of renewable energy is intermittency due to the characteristics of its primary energy source, where solar PV depends on sunlight intensity. The load pattern also significantly affects the PV system's ability to supply loads to meet its contractual targets. This study aims to evaluate the power quality and reliability of electricity supply during weekly load dynamics. The method involves analyzing the load trend variations during weekdays and weekends, which critically affect the power factor, harmonics, and power flow direction. The results show that during weekday conditions, no reverse power occurs, and the grid quality remains stable. During weekend conditions, reverse power flow to the PLN grid occurs between 07:22 and 15:07, with the highest reverse power recorded at 65.540 watts at 12:28. The occurrence of reverse power flow to the PLN grid led to a notable increase in current Total Harmonic Distortion (THD-I), rising from an average value of 19.88% (recorded during holidays) to 31.11%. In contrast, other power quality parameters, such as voltage magnitude and voltage THD, remained within acceptable limits as per the relevant standards and were not significantly impacted.

Keywords: solar PV, load profile, reverse power.

ABSTRAK

Seiring perubahan regulasi PLN minat pengajuan ijin PLTS Atap dengan system On Grid cukup banyak karena biaya perangkat yang semakin murah. Yayasan Tunas Manunggal memiliki 107 KWp daya kontrak ke PLN sebesar 865 KVA yang di suplai dari Gardu PLN PJ096. Problem utama energi terbarukan adalah intermittensi karena karakteristik sumber energi primernya, dimana PLTS dihadapkan pada intensitas penyinaran matahari. Pola pembebanan juga memiliki kontribusi pada kemampuan PLTS mensuplai beban untuk memenuhi target kontraknya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas dan keandalan penyaluran tenaga listrik saat terjadi dinamikan beban mingguan. Metode yang digunakan membaca trend perubahan beban saat weekday dan weekend dimana merupakan faktor krusial yang mempengaruhi faktor daya, harmonik dan arah aliran daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi berbeban (weekday) tidak terjadi reverse power dan kualitas jaringan dalam keadaan baik. Saat kondisi tanpa beban (weekend), terjadi reverse power ke jaringan PLN mulai jam 07.22 sampai dengan jam 15.07 dengan nilai paling tinggi sebesar 65.540 watt pada jam 12.28. Reverse power ke jaringan PLN menyebabkan peningkatan Total Harmonic Distortion arus (THD I) dari THD rata-rata ketika hari libur sebesar 19.88% menjadi 31.11 %. Untuk parameter lainnya seperti tegangan, dan THD tegangan masih dalam batas normal sesuai standar (tidak terganggu).

Kata Kunci: PLTS atap, Load profile, reverse power

I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi listrik terdiri dari beberapa tahapan yang penting dalam proses penyediaan listrik kepada konsumen akhir. Menjaga jaringan distribusi tenaga listrik yang baik sangat penting untuk memastikan pasokan listrik yang stabil dan aman bagi konsumen. Jaringan distribusi yang rusak atau tidak terawat dapat menyebabkan gangguan pasokan listrik, bahkan kebakaran dan ledakan. Hal ini sesuai dengan data laporan gangguan PLN UP3 Teluknaga bulan Januari tahun 2024 sampai bulan Mei 2024 terdapat 24 gangguan gardu yang diakibatkan kondisi jaringan distribusi yang tidak terawat. Saat ini, sudah banyak pengajuan pemasangan PLTS atap yang menggunakan sistem *on grid* dengan jaringan PLN. Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap dengan

sistem *on grid* semakin meningkat. Meskipun memiliki banyak manfaat seperti penghematan energi dan reduksi emisi karbon, peningkatan jumlah PLTS atap dapat berpotensi mempengaruhi keandalan jaringan PLN 20 kV serta kualitas daya yang disediakan kepada pengguna akhir. Adapun Salah satu pelanggan PLN yang memasang PLTS atap adalah Yayasan Tunas Manunggal.

Penelitian ini bertujuan untuk menjaga kualitas jaringan PLN dalam rangka menjaga mutu dan keandalan penyaluran tenaga listrik ke Yayasan Tunas Manunggal dan Jaringan PLN.

II. KAJIAN PUSTAKA

Variabilitas daya yang dihasilkan oleh PLTS bisa terjadi secara cepat sehingga menjadi hal yang sangat penting. Ketika sinar matahari terhalang oleh awan atau

hujan, produksi listrik bisa menurun secara tiba-tiba, menyebabkan ketidakstabilan jaringan. Variasi dalam intensitas radiasi matahari dapat menyebabkan fluktuasi dalam output daya dari PLTS, yang dapat mengganggu keseimbangan antara pasokan dan permintaan daya dalam jaringan [1]. Salah satu parameter dari stabilitas jaringan adalah fluktuasi tegangan, maka Tegangan yang dihasilkan oleh PLTS harus berada dalam batasan yang sesuai dengan spesifikasi jaringan untuk menghindari kerusakan pada peralatan listrik dan memastikan efisiensi dalam distribusi energi [2]. Selain itu, pertumbuhan pesat instalasi PLTS atap menyebabkan adanya fenomena aliran daya balik (reverse power flow), dimana daya yang dihasilkan oleh sistem dapat melebihi konsumsi lokal dan mengalir kembali ke jaringan listrik utama [3]. Fenomena ini sering terjadi pada waktu siang hari, ketika produksi energi surya mencapai puncaknya. adanya reverse power dapat mempengaruhi faktor daya ($\cos \phi$) karena peningkatan sumber daya dari PLTS atap yang biasanya memiliki karakteristik daya aktif dan reaktif tertentu. Jika PLTS atap tidak dilengkapi dengan fitur pengaturan daya reaktif, maka besar kemungkinan akan terjadi ketidakseimbangan antara daya aktif dan reaktif di jaringan [4]. Jika PLTS hanya menghasilkan daya aktif tanpa mengelola daya reaktif, maka faktor daya jaringan cenderung menjadi menurun (menjadi lebih dekat ke nol), yang dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya dan beban pada sistem proteksi [5]. Selain itu, Pada sistem PLTS atap terdapat sebuah alat yaitu inverter. Inverter berperan penting dalam mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) yang sesuai dengan standar jaringan listrik utama [6]. Namun, proses konversi dari DC ke AC pada inverter PLTS atap ini tidak sempurna dan dapat menghasilkan distorsi harmonik [7]. Harmonik adalah komponen frekuensi tambahan yang bukan frekuensi utama (fundamental), dan biasanya muncul karena ketidaksempurnaan rangkaian inverter serta metode kontrol yang digunakan [8].

Dari beberapa tinjauan pustaka diatas, maka peneliti tertarik melakukan analisa tentang dampak adanya penetrasi PLTS atap di yayasan Tunas Manunggal kapasitas 107 kWp yang terhubung dengan jaringan PLN dengan daya kontrak sebesar 865 kVA. Adapun parameter yang akan dianalisa yaitu terkait aliran daya terkait reverse power, fluktuasi tegangan, dan harmonisasi arus dan harmonisasi tegangan dengan membandingkan kondisi berbeban dan tanpa beban di pelanggan tersebut pada kondisi PLTS atap beroperasi untuk mengetahui dampak dari adanya penetrasi PLTS atap ke jaringan

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada sistem kelistrikan pelanggan Yayasan Tunas Manunggal yang telah memasang PLTS atap sebesar 107 kWp dengan daya kontrak sebesar 865 kVA. Sistem ini terhubung ke jaringan distribusi PLN 20 kV, sehingga menjadi objek analisis terhadap dampak penetrasi energi terbarukan terhadap sistem kelistrikan. Penelitian diawali dengan melakukan download data load profile yayasan tunas manunggal di kwh eksisting transaksi PLN. Data tersebut dianalisa untuk mengetahui profil beban harian dan bulanan selama satu tahun. Selain itu dilakukan analisa karakteristik beban harian pada hari kerja dan hari libur untuk mengetahui perbedaan pada kedua kondisi tersebut. Setelah mengetahui karakteristik beban harian maka dilakukan pengukuran di lokasi pelanggan sesuai jadwal yang sudah ditetapkan dan melakukan wiring alat PQM di jaringan PLN untuk mengetahui data kualitas daya. Data hasil pengukuran tersebut diunduh melalui aplikasi energy analyze dan di export ke excel. Data yang sudah menjadi excel tersebut dianalisa dan dibuat grafik untuk mempermudah melakukan analisa, setelah itu, dibuat kesimpulan hasil analisa dari penetrasi PLTS atap 107 kWp yayasan tunas manunggal ke jaringan PLN yaitu analisa daya untuk mengetahui adanya reverse power, analisa tegangan, analisa THD V dan analisa THD I.

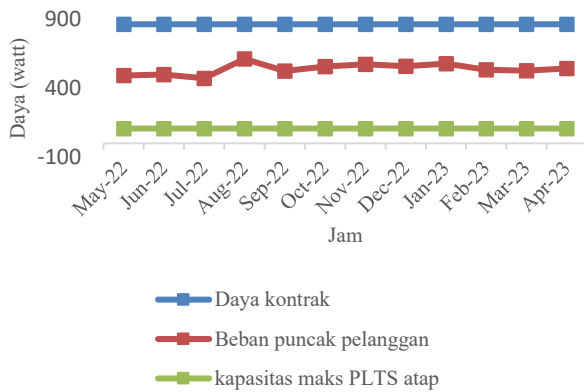
A. Pengambilan data awal dan analisa load profile

Sebelum melakukan pengukuran di lokasi pelanggan, penulis harus mengetahui karakteristik beban pelanggan Yayasan Tunas manunggal berupa beban puncak selama setahun dan beban harian sehingga bisa menentukan metode pengukuran atau pengujian yang tepat untuk menganalisa dampak penetrasi PLTS atap yayasan Tunas Manunggal ke Jaringan PLN.

TABEL I
DATA BEBAN PUNCAK BULANAN

Bulan	Daya Maks (kW)	Energi bulanan (kWh)	Energi harian (kWh)	Energi PLTS (kWh/hari)	% Energi dipenuhi PLTS
Mei 2022	491,87	85,03	2,74	535	20
Juni 2022	499,95	86,04	2,86	535	19
Juli 2022	472,62	83,90	2,70	535	20
Agustus 2022	613,34	97,41	3,14	535	17
September 2022	526,42	130,69	4,35	535	12
Oktober 2022	557,07	113,25	3,65	535	15
November 2022	574,61	126,42	4,21	535	13
Desember 2022	560,34	128,94	4,15	535	13
Januari 2023	579,40	90,88	2,93	535	18
Februari 2023	533,88	118,64	4,23	535	13
Maret 2023	527,84	113,13	3,64	535	15
April 2023	527,84	116,01	3,86	535	14
Maksimal	613,34	130,69	4356	535	20
Rata-rata	544.50	109.31	3606	535	16

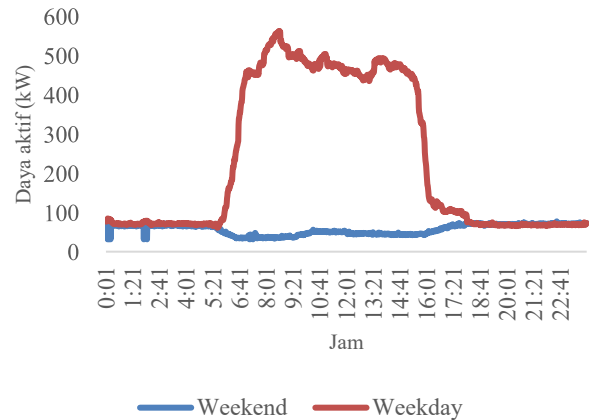
Tabel 1 menunjukkan Data load profile Yayasan tunas manunggal selama satu tahun dari bulan Mei 2022 sampai dengan bulan April 2023. Pada data tersebut, daya aktif tertinggi (Beban puncak) terjadi pada tanggal 12 Agustus 2022 jam 10.30 sebesar 613,346 kWp. Sedangkan pemakaian energi bulanan yang dikonsumsi yayasan tunas manunggal tertinggi yaitu sebesar 130.690 kwh dengan energi harian sebesar 4.356 kwh. PLTS atap yang terpasang dengan kapasitas 107,38 kWp memiliki asumsi beroperasi selama 5 jam dan mampu menghasilkan energi harian sebesar 535 kwh atau sekitar 20% dari pemakaian energi harian.



Gambar. 1. Perbandingan daya kontrak, beban puncak pelanggan dan kapasitas maksimum PLTS atap

Gambar 1 menjelaskan tentang perbandingan daya kontrak dan kapasitas maksimal PLTS atap. PLTS atap yang terpasang di Yayasan Tunas Manunggal memiliki kapasitas 107,38 kWp atau sebesar 12.41% dari daya kontrak PLN 865 kVa. Menurut Permen ESDM No. 26 Tahun 2021 tentang kapasitas maksimal PLTS Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang IUPTL untuk Kepentingan Umum adalah 100% dari daya kontrak yang dapat terkoneksi ke grid PLN [9]. Selain itu, gambar diatas menunjukkan perbandingan kapasitas PLTS atap dengan beban aktif maksimal bulanan (beban puncak) yaitu sebesar 17.51%. Pada saat PLTS atap beroperasi, maka kebutuhan pelanggan akan disupply terlebih dahulu oleh PLTS atap. Jika daya yang dihasilkan PLTS atap lebih kecil dibandingkan kebutuhan beban, maka kekurangannya akan disupply oleh PLN sehingga PLN harus selalu siap untuk mencukupi kekurangan daya atau intermitensi dari PLTS atap. Namun jika daya yang dihasilkan PLTS atap lebih besar dibandingkan kebutuhan beban, maka kelebihannya akan dikirim ke jaringan PLN. Secara umum gambar diatas menggambarkan kondisi yang aman karena besar kapasitas PLTS atap yang terpasang jauh dibawah daya kontrak sesuai batasan maksimal yang dijelaskan permen ESDM No. 26 Tahun 2021 dan energi harian yang dihasilkan PLTS atap hanya 20% dari kebutuhan energi harian Yayasan tunas manunggal sehingga kecil kemungkinan adanya *reverse power*. Akan tetapi, ada kondisi lain yang harus dipertimbangkan karena beban

pada pelanggan tidak selalu konstan, apalagi ada perbedaan yang sangat signifikan di hari kerja (*weekday*) dengan hari libur (*weekend*) dikarenakan peruntukannya untuk sekolah sehingga perlu menganalisa tipe beban harian di Yayasan tunas manunggal.



Gambar. 2. Perbandingan Beban harian hari kerja (weekday) dan hari libur (weekend)

Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan beban harian pada hari kerja (*weekday*) dan hari libur atau (*weekend*). Perbedaan tersebut terjadi mulai pukul 05.49 sampai dengan pukul 17.54. Pada hari kerja (*weekday*), kenaikan beban dimulai dari pukul 05.53. Beban terus menaik dan mengalami puncak beban terjadi pada pukul 08.40 yaitu sebesar 561.96 kW. Pada sore hari, setelah jam belajar selesai maka beban di Yayasan Tunas manunggal menurun. Sedangkan pada hari libur (*weekend*), beban pada pagi hari sampai sore hari justru lebih kecil dibandingkan malam hari dikarenakan pada waktu tersebut tidak ada kegiatan belajar sehingga beban listrik dimatikan. Perbedaan karakteristik beban ini terjadi justru pada rentang PLTS atap ini beroperasi, sehingga perlu dilakukan analisa untuk membandingkan kedua kondisi ini jika adanya PLTS atap terhubung paralel ke jaringan PLN.

B. Metode Pengukuran

Hasil analisa data awal load profile yang menunjukkan perbedaan karakteristik beban harian hari kerja dan hari libur sehingga perlu dilakukan analisa pengukuran di lokasi penelitian Yayasan Tunas Manunggal yang berlokasi di Jalan Alam Sutra Serpong Tangerang pada kondisi sebagai berikut:

TABEL 2
METODE PENGUKURAN

No	Kondisi	PLTS Atap	Waktu	Parameter
1	Hari kerja (<i>Weekday</i>)	Mati	22 Mei 2023	Daya, Cosphi, Tegangan, THD V, THD I
2	Hari kerja (<i>Weekday</i>)	Hidup	27 Maret 2023	Daya, Cosphi, Tegangan, THD V, THD I
3	Hari Libur (<i>Weekend</i>)	Mati	21 Mei 2023	Daya, Cosphi, Tegangan, THD V, THD I
4	Hari Libur (<i>Weekend</i>)	Hidup	26 Maret 2023	Daya, Cosphi, Tegangan, THD V, THD I

Tabel 2 menjelaskan metode pengukuran yang dilakukan dilakukan pada 4 kondisi yaitu pada hari kerja dengan kondisi PLTS mati, pada hari kerja dengan kondisi PLTS hidup, pada hari libur dengan kondisi PLTS mati dan pada hari libur dengan kondisi PLTS hidup. Hal ini dilakukan untuk mengetahui dampak penetrasi PLTS atap terhadap jaringan PLN pada hari libur dan hari kerja. Secara teknis, kehadiran PLTS, dapat memengaruhi stabilitas dan kualitas sistem tenaga. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis beberapa parameter teknis penting seperti Aliran Daya balik (*Reverse Power Flow*). PLTS yang menghasilkan daya aktif melebihi kebutuhan lokal dapat menyebabkan aliran daya balik (*reverse power*) ke jaringan utama PLN. Fenomena ini dapat mempengaruhi kerja transformator (misalnya meningkatkan rugi-rugi atau *overload*), menyebabkan pengoperasian proteksi menjadi tidak sesuai arah arus, serta memerlukan penyesuaian sistem proteksi dan koordinasinya.

Penetrasi tinggi PLTS pada jaringan tegangan rendah dapat menyebabkan aliran daya balik ke transformator distribusi. Hal ini berpotensi menyebabkan kelebihan beban (*overload*), peningkatan rugi-rugi daya, dan penurunan umur teknis transformator. Simulasi penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pada tingkat penetrasi PLTS sebesar 88,3%, terjadi aliran daya balik yang signifikan, dengan batas beban balik transformator mencapai 78,04 kVA atau 24,77% dari kapasitasnya [10]. Persamaan dasar aliran daya:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \text{ dan } Q = V \cdot I \cdot \sin \phi . \tag{1}$$

Jika nilai menjadi negatif pada sisi pelanggan, berarti terjadi reverse power flow menuju jaringan PLN 20 kV. Selain itu, Produksi daya dari PLTS bersifat intermiten, sangat bergantung pada iradiasi matahari. Perubahan mendadak karena awan atau cuaca menyebabkan tegangan sistem naik atau turun dalam waktu singkat . Penelitian oleh Moghbel et al. (2020) dalam IET Renewable Power Generation mempelajari fluktuasi output daya dari sistem PV terdistribusi pada sistem tenaga listrik terisolasi. Studi ini menemukan bahwa pergerakan awan dapat menyebabkan penurunan output daya hingga 50% dalam interval 5 menit, yang berdampak langsung pada fluktuasi tegangan sistem [11]. Persamaan dasar deviasi tegangan:

$$\Delta V = \frac{R \cdot \Delta P + X \cdot \Delta Q}{V} \tag{2}$$

dimana: R= resistansi saluran, X = reaktansi saluran, , Q= perubahan daya aktif dan reaktif, V= tegangan nominal. Pada penelitian ini, akan dianalisa fluktuasi tegangan akibat dampak penetrasi PLTS atap pada kondisi hari libur dan juga kondisi hari kerja untuk mengetahui apakah masih dalam batas standar. Selain itu, PLTS pada umumnya menghasilkan daya aktif (P)

saja, tanpa menyuplai daya reaktif (Q). Akibatnya, jika beban memerlukan daya reaktif, maka *cosp_{hi}* dapat menurun, menurunkan efisiensi sistem dan menambah rugi-rugi daya. Faktor daya menunjukkan efisiensi penggunaan daya dalam sistem. Rumus faktor daya:

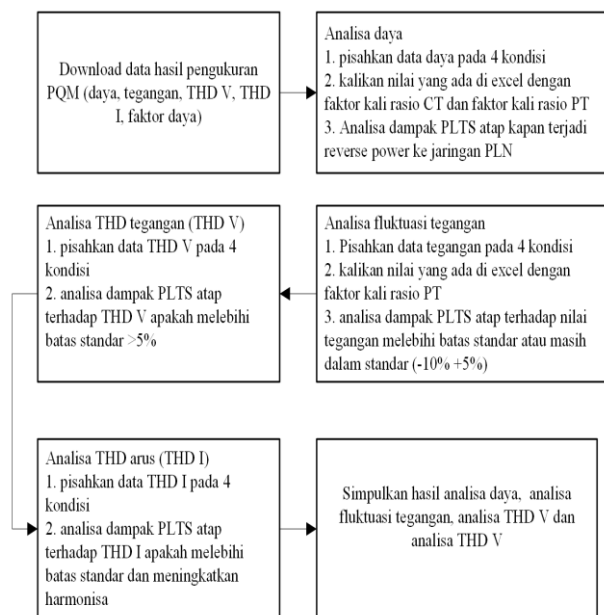
$$Cosphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 - Q^2}} \tag{3}$$

PLTS menggunakan inverter untuk mengubah arus searah (DC) dari panel surya menjadi arus bolak-balik (AC). Proses ini dapat menghasilkan harmonisa yang mencemari jaringan listrik. Pada penelitian ini akan menganalisa apakah dampak dari penetrasi PLTS atap meningkatkan harmonisa dan apakah masih dalam batas yang dipersyaratkan dalam aturan grid code. (P. Menteri et al., 2020) Batas THD tegangan adalah sebagai berikut:

TABEL 3
BATAS THD TEGANGAN MENURUT PERMEN ESDM 2020

Tegangan sistem	PLTS Atap
500 kV	≤ 1.5%
275 kV	≤ 2.0%
150 kV	≤ 3.0%
66 kV	≤ 5.0%
20 kV	≤ 5.0%
0,4 kV	≤ 8.0%

Tabel 3 menjelaskan batasan THD tegangan yang diizinkan menurut aturan grid code pada permen ESDM yaitu untuk tegangan 20 kV, maka batasan maksimal THD tegangan yaitu ≤ 5.0%. Untuk lebih jelas terkait analisa yang dilakukan pada penelitian ini, bisa dilihat pada gambar 3 yaitu sebagai berikut:



Gambar. 3. Diagram blok pengujian

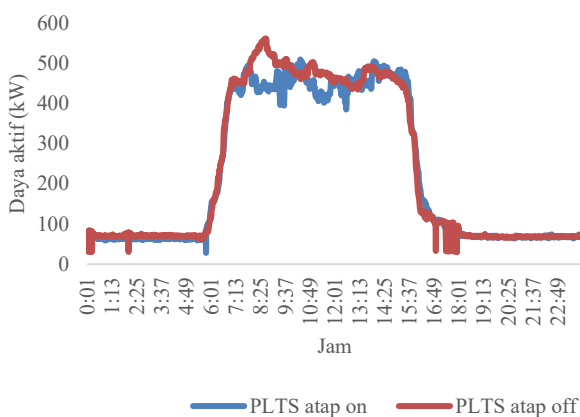
Gambar 3 menunjukkan diagram blok pengujian yang dilakukan untuk mengetahui dampak dari penetrasi

PLTS atap yayasan tunas manunggal ke jaringan PLN dengan melakukan 5 analisa yaitu berupa analisa daya, analisa fluktuasi tegangan, analisa THD tegangan (THD V), analisa THD arus (THD I), dan analisa faktor daya (pf). Yayasan Tunas Manunggal di supply dari Gardu PJ096 yang di dalamnya terdapat 3 buah *Medium Voltage cell* (MV Cell) yaitu *cubical Incoming*, *cubical outgoing* dan *cubical circuit breaker busbar open metering* (*cubical CBOM*). Pada *cubical CBOM* terdapat alat yaitu *Current Transformer* (CT) dan *Potensial transformer* (PT) untuk menurunkan arus dan tegangan menengah sehingga bisa dilakukan pengukuran oleh alat ukur lain seperti KWH Meter maupun alat *Power Quality Meter* (PQM). Penulis menggunakan PQM untuk mengukur pelanggan tersebut yang dipasang di sisi sekunder output dari CT dan PT sehingga data yang didapat harus dilakukan konversi ke sisi primer.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Analisa Perbandingan daya

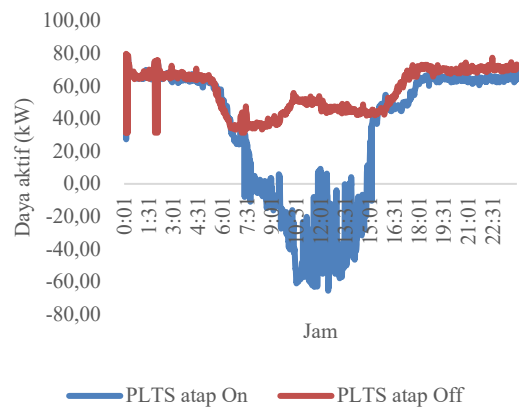
Analisa perbandingan daya dilakukan untuk mengetahui besarnya daya yang diukur ketika kondisi hari kerja dan hari libur untuk mengetahui apakah terjadi aliran daya balik (*reverse power* atau tidak) yang ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6.



Gambar. 4. Grafik perbandingan daya hari kerja (*weekday*)

Gambar 4 menunjukkan grafik hasil pengukuran daya pada hari kerja (*weekday*).

Pada hari kerja, beban di yayasan tunas manunggal cukup besar dan melebihi daya yang dihasilkan PLTS atap, sehingga ketika PLTS atap dihidupkan tidak terjadi *reverse power* (aliran daya balik) di jaringan PLN dan hanya mengalami penurunan daya yang dikirim PLN ke Yayasan Tunas Manunggal.

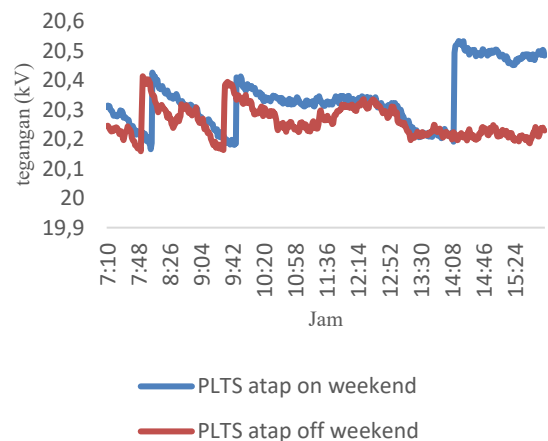


Gambar. 5. Grafik Perbandingan daya saat hari libur (*weekend*)

Gambar 5 menunjukkan grafik hasil pengukuran pada hari libur (*weekend*), terjadi dua kondisi berbeda ketika PLTS atap kondisi mati dan hidup. Ketika PLTS atap mati, beban pelanggan yayasan Tunas manunggal pada jam 07.00 - 17.00 mengonsumsi daya aktif 40.000 watt sampai dengan 60.000 watt. Adapun kondisi kedua yaitu ketika PLTS atap dihidupkan, maka pelanggan yayasan Tunas manunggal pada jam 07.22 sampai dengan 15.07 mengalami *reverse power* aliran daya balik. Aliran daya balik yang dikirim oleh PV yayasan Tunas Manunggal ke jaringan PLN bervariasi dengan nilai yang fluktuatif. Hasil pengukuran PQM aliran daya balik yang masuk ke PLN terjadi paling tinggi sebesar 65,54 kW pada jam 12.28 atau sebesar 59,5% dari kapasitas maksimal PLTS atap yayasan tunas manunggal 110 kWp dan 7,5% dari daya kontrak 865 kVA. Nilai besarnya daya yang dikirim PLTS atap tergantung pada berbagai faktor seperti cahaya matahari dan lain-lain. Dengan aliran balik yang masih kecil, maka trafo akan mengalami pembebanan tapi tidak terlalu signifikan (masih kategori aman).

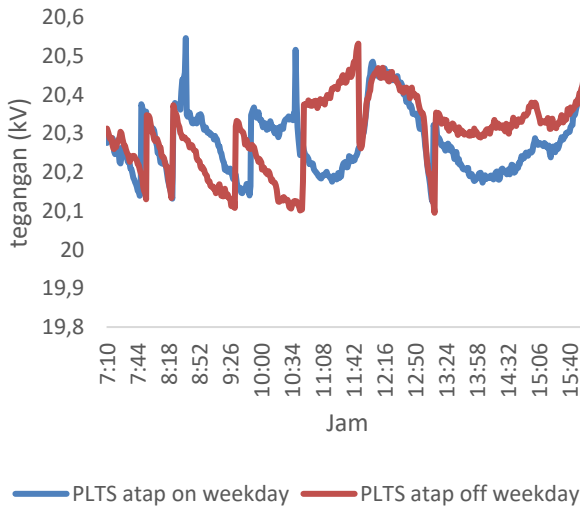
B. Analisa Tegangan

Analisa tegangan dilakukan untuk mengetahui nilai fluktuasi tegangan ketika penetrasi PLTS atap ke jaringan PLN apakah masih dalam batas standar atau melebihi batas standar yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ dari tegangan nominal.



Gambar. 6. Grafik perbandingan Nilai tegangan ketika *weekend*

Gambar 6 menunjukkan grafik perbandingan nilai tegangan pada kondisi *weekend*. ketika PLTS atap off, tegangan rata-rata di yayasan tunas manunggal sebesar 20,25 kV dan tegangan maksimalnya sebesar 20,41 kV. sedangkan ketika PLTS atap on, tegangan rata-ratanya menjadi 20,34 kV dan tegangan maksimalnya sebesar 20,53 kV. Penetrasi PLTS atap pada *weekend* menaikkan tegangan pada periode jam 07.00 sampai jam 16.00 dengan rata-rata kenaikan sebesar 70 Volt atau 0,35% dari tegangan sebelum PLTS atap beroperasi.



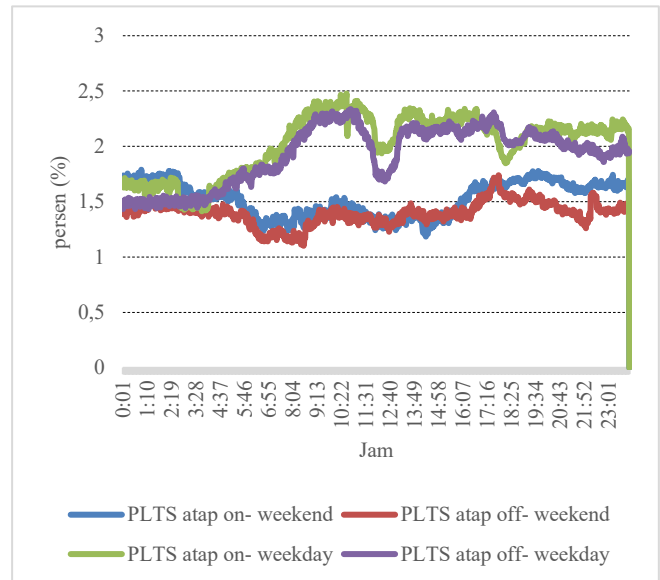
Gambar. 7. Grafik perbandingan Nilai tegangan ketika *weekday*

Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan nilai tegangan pada kondisi *weekday*. ketika PLTS atap off, tegangan rata-rata di yayasan tunas manunggal sebesar 20,30 kV dan tegangan maksimalnya sebesar 20,53 kV. sedangkan ketika PLTS atap on, tegangan rata-ratanya menjadi 20,27 kV dan tegangan maksimalnya sebesar 20,54 kV. Penetrasi PLTS atap pada *weekday* tidak membuat adanya kenaikan tegangan.

Hasil untuk analisa tegangan yaitu ketika PLTS atap on pada kondisi *weekend*, membuat kenaikan tegangan sebesar 70 volt atau kenaikan sebesar 0,35% dari tegangan sebelumnya, sedangkan ketika PLTS atap on kondisi *weekday* tidak membuat terjadinya kenaikan tegangan. Hasil analisa menunjukkan bahwa pengaruh tegangan ketika penetrasi PLTS atap baik kondisi *weekend* maupun *weekday* tidak menimbulkan dampak berbahaya terhadap tegangan (masih dalam kategori aman)

C. Analisa Total Harmonik Distorsi Tegangan (THD V)

Analisa besarnya nilai total harmonik tegangan (THD V) dilakukan untuk mengetahui nilai harmonisa tegangan ketika penetrasi PLTS atap ke jaringan PLN apakah masih dalam batas standar atau melebihi batas standar yang diizinkan yaitu $\leq 5\%$.

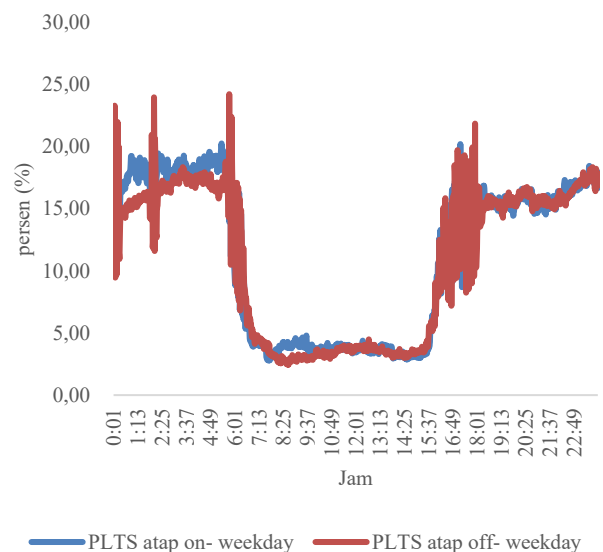


Gambar.8. Grafik perbandingan Nilai THD tegangan (THD V)

Gambar 8 menunjukkan hasil pengukuran di yayasan tunas manunggal terhadap pengaruh analisa THD tegangan menunjukkan bahwa pada 4 kondisi tersebut, semuanya masih dalam batas normal. nilai THD V paling tinggi terjadi ketika waktu *weekday* atau berbeban yaitu sebesar 2,47%. nilai tersebut masih dibawah batas yang diizinkan. Dengan kata lain, penetrasi PV ke jaringan PLN tidak berdampak signifikan terhadap peningkatan THD tegangan. tegangan ketika PLTS atap dihidupkan, menunjukkan bahwa THD tegangan nilainya masih dibawah 5%.

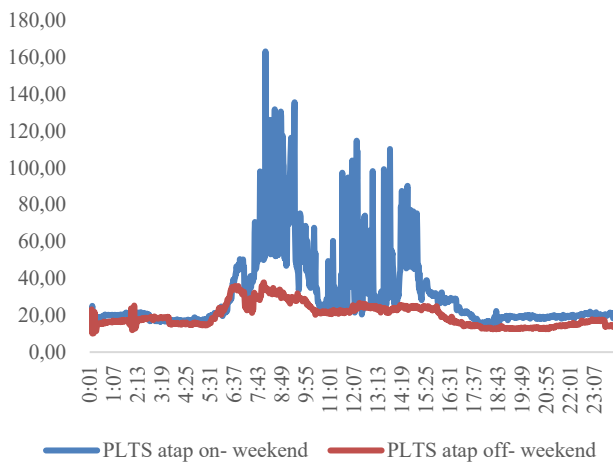
D. Analisa Total Harmonik Distorsi Arus (THD I)

Pada analisa THD arus ini, analisa dilakukan dengan membandingkan saat waktu *weekend* kondisi PLTS atap off dan *inverter on* (dalam kondisi tidak berbeban), serta membandingkan waktu *weekday* kondisi PLTS atap off dan PLTS atap on.



Gambar. 9. Grafik perbandingan Nilai THD arus (THD I) pada hari kerja (*weekday*)

Gambar 9 menunjukkan bahwa ketika *weekday* atau berbeban, nilai THD arus (THD I) ketika PLTS atap on maupun off, tidak terjadi perbedaan signifikan. Dan nilai saat siang hari, menunjukkan nilai yang masih dibawah 5%.



Gambar. 10. Grafik perbandingan Nilai THD arus (THD I) pada hari libur (*weekend*)

Gambar 10 menunjukkan bahwa hasil pengukuran ketika hari libur (*weekend*) atau tidak berbeban, nilai THD arus (THD I) melonjak tinggi ketika inverter on dan adanya *reverse power* ke jaringan PLN. THD rata-rata ketika hari libur sebesar 19,88% menjadi 31,11 %. Nilai lonjakan tertinggi mencapai 150%, dan harmonisa ini akan mengakibatkan gangguan frekuensi pada jaringan PLN.

V. KESIMPULAN

1. Hasil pengukuran pada hari kerja (*weekday*), beban di yayasan tunas manunggal cukup besar dan melebihi daya yang dihasilkan PLTS atap, sehingga ketika PLTS atap dihidupkan tidak terjadi *reverse power* (aliran daya balik) di jaringan PLN.
2. Hasil pengukuran pada hari libur (*weekend*) ketika PLTS atap dihidupkan, maka pelanggan yayasan Tunas manunggal pada jam 07.22 sampai dengan 15.07 mengalami *reverse power*/ aliran daya balik. Aliran daya balik yang dikirim oleh PV yayasan Tunas Manunggal ke jaringan PLN bervariasi dengan nilai yang fluktuatif dengan nilai paling tinggi sebesar 65,54 kW pada jam 12.28 atau sebesar 59,5% dari kapasitas maksimal PLTS atap yayasan tunas manunggal 110 kWp dan 7,5% dari daya kontrak 865 kVA
3. Hasil untuk analisa tegangan yaitu ketika PLTS atap on pada kondisi *weekend*, membuat kenaikan tegangan sebesar 70 volt atau kenaikan sebesar 0,35% dari tegangan sebelumnya, sedangkan ketika PLTS atap on kondisi *weekday* tidak membuat terjadinya kenaikan tegangan sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya penetrasi PLTS atap

baik kondisi *weekend* maupun *weekday* tidak menimbulkan dampak berbahaya terhadap tegangan (masih dalam kategori aman)

4. Hasil pengukuran di yayasan tunas manunggal terhadap pengaruh analisa THD tegangan menunjukkan bahwa pada 4 kondisi tersebut, semuanya masih dalam batas normal. nilai THD V paling tinggi terjadi ketika waktu *weekday* atau berbeban yaitu sebesar 2,47%. nilai tersebut masih dibawah batas yang diizinkan yaitu dibawah 5%.
5. Hasil pengukuran di yayasan tunas manunggal terhadap pengaruh analisa THD arus menunjukkan bahwa ketika *weekday* atau berbeban, nilai THD arus (THD I) ketika PLTS atap on maupun off, tidak terjadi perbedaan signifikan. Dan nilai saat siang hari, menunjukkan nilai yang masih dibawah 5%. Adapun ketika hari libur (*weekend*) atau tidak berbeban, nilai THD arus (THD I) melonjak tinggi ketika inverter on dan adanya *reverse power* ke jaringan PLN. Nilai lonjakan tertinggi mencapai 150%, dan harmonisa ini akan mengakibatkan gangguan frekuensi pada jaringan PLN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yin, J., Molini, A., & Porporato, "A. Impacts of solar intermittency on future photovoltaic reliability," *Nature Communications*, vol. 11, no. 1, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18602-6>.
- [2] IEEE Std 1547-2003, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, 2003.
- [3] Alam, M. J. E., Muttaqi, K. M., & Sutanto, D, "An approach for online assessment of rooftop solar PV impacts on low-voltage distribution networks," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 5, no. 2, hal. 663–672, 2014. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2013.2280635>.
- [4] Barrero-González, F., dkk, "Photovoltaic Power Converter Management in Unbalanced Low Voltage Networks with Ancillary Services Support," *Energies*, vol. 12, no. 6, 2019. <https://doi.org/10.3390/en12060972>.
- [5] Chandra, A, dkk, (2019). "Simulasi Grid Connected PV Dengan Fungsi Kompensasi Daya Reaktif PV-Inverter Menggunakan Kontrol ANN," [Online]. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/inajece/article/view/4777/2616>
- [6] Harmini, H. , & N. T. (2020). "Desain Solar Power Inverter pada Sistem Photovoltaic," *Elektrika*. [Online]. 12(1). <https://journals.usm.ac.id/index.php/elektrika/article/view/1863>
- [7] Kurniawan, R., Daud, M., & Hasibuan, A. "Impact of Intermittent Renewable Energy Generations Penetration on Harmonics in Microgrid Distribution Networks," *Proceeding - ELTICOM 2022: 6th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering 2022*, hal 30–37. 2022. <https://doi.org/10.1109/ELTICOM57747.2022.10038200>

- [8] Budiman, F. N., & Ramadhani, M. R. "Total Harmonic Distortion Comparison between Sinusoidal PWM Inverter and Multilevel Inverter in Solar Panel," *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network Computing, Electronics, and Control*, hal. 191–202, 2018. <https://doi.org/10.22219/kinetik.v3i3.617>
- [9] Menteri, P., Dan, E., & Daya Mineral, S. Peraturan Menteri Energi dan sumber daya Mineral tentang aturan jaringan sistem tenaga listrik (Grid Code), 2020.
- [10] Majeed, I., & Nwulu, N. "Impact of Reverse Power Flow on Distributed Transformers in a Solar-Photovoltaic-Integrated Low-Voltage Network," *Energies*, vol. 15, hal. 9238. 2022. <https://doi.org/10.3390/en15239238>
- [11] Moghbel, M., dkk. "Output power fluctuations of distributed photovoltaic systems across an isolated power system: insights from high-resolution data," *IET Renewable Power Generation*, vol. 14, no. 19, hal. 3989–3995, 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2020.0546>