

## **Analisis Dampak Pemasangan *Grid Tie Inverter* pada Interkoneksi antara Jaringan PLN dan *Solar Cell* Terhadap Faktor Daya dan Harmonisa Sistem**

<sup>1</sup> Jessica Eda, <sup>2</sup> Melisa Mulyadi, <sup>3</sup> Budi Kartadinata, <sup>4</sup> Harlianto Tanudjaja  
<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik  
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya – Jakarta

### **ABSTRAK**

Penggunaan *solar cell* menunjukkan peralihan sumber energi dari energi fosil ke sumber energi terbarukan semakin meningkat. Pembangkitan energi listrik berbasis cahaya matahari itu semakin berkembang, dari yang harus menggunakan baterai, hingga dapat digunakan paralel dengan jaringan listrik yang sudah ada. Sistem yang dapat memadukan sistem *solar cell* dan *electrical grid* disebut sistem *on-grid*. Komponen penting dalam sistem *on grid* tersebut adalah *Grid Tie Inverter* (GTI) yang dapat mensinkronkan tegangan keluaran *solar cell* dengan tegangan penyedia suplai listrik utama, yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN). Penyambungan GTI pada sistem *solar cell* ini akan memberikan dampak tertentu pada jaringan yang sudah ada, khususnya harmonisa sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak penggunaan GTI pada jaringan utama, baik ditinjau dari nilai harmonisa yang akan mengindikasikan distorsi yang terjadi, maupun dari besar faktor daya total. Pengukuran dilakukan dengan alat *power quality meter* dengan membandingkan besaran pengukuran pada kondisi PLN tanpa *solar cell* dan kondisi PLN dengan *solar cell*. Besaran yang diambil pada pengukuran meliputi besaran parameter harmonisa seperti tegangan, arus, daya, *Total Harmonic Distortion* (THD) tegangan dan THD arus. Dari analisis yang dilakukan, nilai distorsi tegangan sistem PLN dengan *solar cell* lebih kecil dari distorsi tegangan PLN karena adanya filter pada GTI yang digunakan.

Kata kunci: *solar cell*, *on grid*, GTI, harmonisa, THD, faktor daya.

### **ABSTRACT**

*During the last decade, the use of solar cell is increasing due to the changing trend of energy resources, from fossil energy to the renewable energy. Power generating based on solar energy is getting developed and resulted in batteryless solar cell. The system that can combine the solar cell system and the electrical grid described as on grid system. One of the most substantial component in on grid system is the Grid Tie Inverter (GTI) that could synchronize the output voltage of solar cell with the output voltage of the main utility grid, which is Perusahaan Listrik Negara (PLN). The connection of GTI in solar cell system will have certain impacts to the main grid, especially the system's harmonics. This paper aims to analyze the effect of the use of GTI to the main supply to its harmonics value, that indicates the distortion level, and also to its total power factor. Power Quality Meter been used as the measurement instrument to compare the measurement value in two conditions, PLN with and without solar cell. The research has been done by measuring harmonic parameter such as voltage, current, power, THD of voltage and THD of current. The result of the measurement shows that the distortion value of PLN with solar cell is lower than the distortion value of PLN without solar cell because of the addition of filter in the GTI*

*Key words: solar cell, on grid, GTI, harmonics, THD, power factor.*

## PENDAHULUAN

Listrik telah menjadi komoditi utama untuk mengakomodasi kebutuhan manusia dewasa ini. Pembangkitan energi listrik itu sendiri pada hakikatnya merupakan proses konversi dari suatu sumber energi menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan generator. Penggunaan sumber energi dari fosil seperti minyak bumi dan batu bara sudah menjadi isu laten mengingat ketersediaannya yang semakin menipis serta degradasi kualitas lingkungan yang ditimbulkan, sehingga diperlukan alternatif sumber energi untuk menggantikannya, yaitu sumber energi terbarukan

Salah satu contoh energi terbarukan di bidang tenaga listrik adalah *solar cell*. Keluaran daya dari *solar cell* bersifat fluktuatif karena sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari. Permasalahan ini dapat ditangani dengan menggunakan baterai tetapi baterai juga memerlukan perawatan khusus, harganya relatif tinggi dan tidak dapat bekerja secara paralel dengan sumber listrik yang lain.

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan suatu sistem yang dapat mengombinasikan *electrical grid* yaitu suplai dari PLN selaku suplai utama, dengan suplai dari *solar cell* itu sendiri, sehingga keduanya dapat bekerja secara paralel. Saat keluaran *solar cell* cukup untuk mengakomodasi listrik yang dibutuhkan, daya dari PLN tidak akan digunakan, dan saat keluaran *solar cell* tidak mencukupi untuk mengakomodasi kebutuhan listrik, PLN akan memasok sisa dari kebutuhan listrik tersebut. Sistem demikian disebut sistem *on grid*.

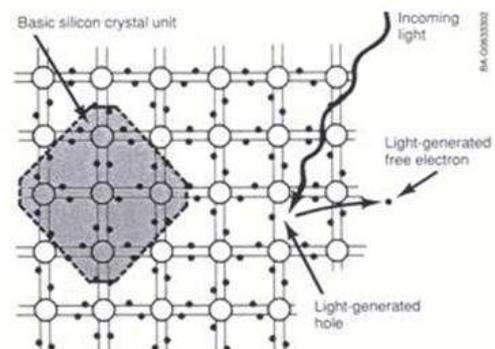
Penyambungan *solar cell* ke *electrical grid* ini akan memiliki dampak ke jaringan listrik yang telah ada. Untuk menganalisis dampak tersebut, maka harus dilakukan pengukuran

terhadap karakteristik dari sistem *solar cell* yang akan dihubungkan ke *Grid Tie Inverter* (GTI). Dampak tersebut terlihat dari nilai distorsi harmonisa dan faktor dayanya.

## TEORI PENDUKUNG

### A. *Solar Cell*

*Solar cell* merupakan komponen semikonduktor yang dapat menghasilkan listrik arus searah (DC) dengan memanfaatkan energi matahari. Ketika *solar cell* menerima foton dari suatu sumber cahaya, maka elektron akan terlepas dari struktur atomnya. Elektron yang terlepas menjadi bebas bergerak di dalam bidang kristal sehingga terjadilah arus. Skema sederhana terjadinya elektron bebas pada material semikonduktor diilustrasikan pada Gambar 1.

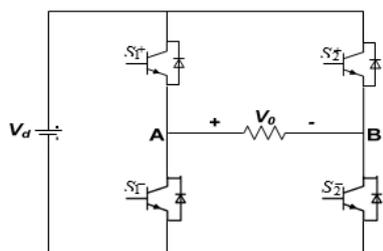


Gambar 1 Skema terjadinya elektron Bebas [1]

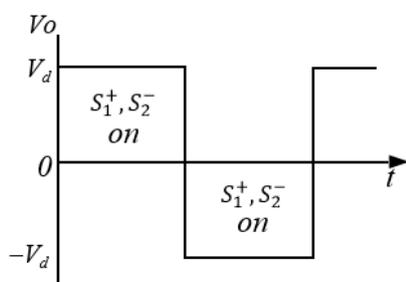
### B. *Inverter*

Fungsi *inverter* adalah untuk mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC. Gambar 2 merupakan salah satu topologi *inverter bridge*, yaitu *full-bridge* dengan sumber tegangan DC.

Pada dasarnya, untuk menghasilkan keluaran AC sinusoidal, *inverter* bekerja dengan mengatur penyaklaran masukan sumber DC.

Gambar 2 *Inverterfull bridge*

Pada saat  $S_1^+$  dan  $S_2^-$  on, tegangan pada beban akan bernilai  $V_d$  ( $V_o = V_d$ ), dan pada saat  $S_1^-$  dan  $S_2^+$  on, tegangan pada beban akan bernilai  $-V_d$  ( $V_o = -V_d$ ) [2]. Bentuk tegangan keluaran dari penyaklaran di atas ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sinyal keluaran

Keluaran *inverter* dengan penyaklaran seperti Gambar 3 adalah gelombang persegi. Gelombang seperti ini memiliki kandungan harmonisa yang besar. Biasanya keluaran *inverter* yang diinginkan adalah bentuk gelombang sinus murni karena gelombang sinus murni tidak mengandung harmonisa. Untuk mendapatkan bentuk gelombang sinusoidal maka teknik penyaklaran transistor harus diatur. Salah satu teknik yang paling umum digunakan dalam mengatur penyaklaran transistor dalam *inverter* adalah *Pulse Width Modulation* [4].

### C. *Grid Tie Inverter (GTI)*

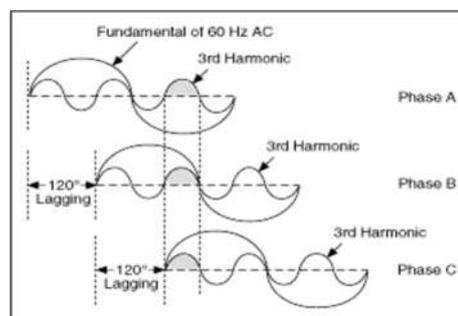
*Grid Tie Inverter* merupakan *inverter* tipe khusus yang dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dan dioperasikan secara paralel bersama dengan jaringan listrik

utama. Oleh karena syarat pengoperasiannya adalah keluaran GTI yang dihubungkan bersama dengan jaringan listrik yang sudah ada (dalam hal ini, PLN), GTI juga dikenal sebagai *synchronous inverter* atau *grid-interactive inverter* dan hal ini membedakannya dengan *inverter* lainnya.

Secara umum, GTI harus memenuhi beberapa persyaratan agar dapat terhubung ke jaringan listrik PLN, yaitu tegangan, fase dan frekuensi keluaran GTI harus sama dengan tegangan, fase dan frekuensi jaringan yang sudah ada [3].

### D. Harmonisa

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya [4]. Gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang aslinya sehingga terbentuk gelombang yang merupakan jumlah antara gelombang murni dengan gelombang harmonisanya. Gambar 4 menunjukkan ilustrasi dasar harmonisa.



Gambar 4 Gelombang dengan harmonisa

Komponen harmonisa atau biasa disebut harmonisa pada sistem tenaga AC didefinisikan sebagai komponen sinusoidal yang sempurna dengan bentuk

gelombang periodik yang memiliki frekuensi sama dengan perkalian antara bilangan bulat (*integer*) dan frekuensi fundamental dari sistem yang bisa dinyatakan dalam Persamaan 1

$$f_n = n \times f(1)$$

Keterangan :

n : bilangan integer

f : frekuensi (Hz)

Gelombang harmonik akan menumpang pada gelombang fundamental sehingga akan terbentuk gelombang yang terdistorsi. Ini karena efek penjumlahan dari gelombang harmonisa dengan gelombang fundamentalnya. Gelombang harmonisa ini dapat dijabarkan pada deret Fourier seperti pada Persamaan 2.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)\} \quad (2)$$

Keterangan :

$a_0$  = amplitudo komponen fundamental

$a_n, b_n$  = amplitudo komponen harmonisa

Koefisien Fourier ditentukan oleh Persamaan 3, 4, dan 5 berikut:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (3)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad (4)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega_0 t) dt \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan (2) suatu gelombang periodik yang berulang dalam selang waktu tertentu (T) dapat direpresentasikan sebagai penjumlahan antara komponen gelombang fundamental dengan gelombang harmonisanya.

Standar harmonisa menunjukkan batasan nilai distorsi tegangan yang digunakan untuk mengevaluasi harmonisa yang terjadi. Tabel standar harmonisa berdasarkan standar IEEE 519-1992 ditunjukkan pada Tabel 1

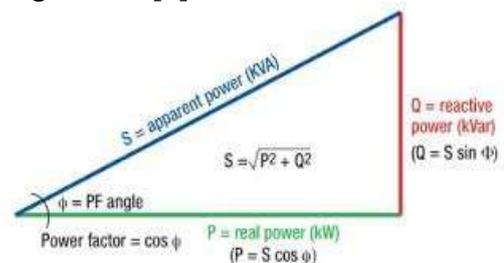
Tabel 1 Standar harmonisa tegangan

Tegangan Bus PCC	Total THDV (%)
< 1 kV	8.0
1,00 kV - 69 kV	5.0
69,00 kV - 161 kV	2.5
>161,00 kV	1.5

### E. Power Factor (PF)

*Power factor* (PF) adalah nilai cosinus dari sudut antara daya semu dan daya aktif. Daya aktif adalah daya yang dikonsumsi oleh beban resistif dan memiliki satuan watt. Daya reaktif adalah daya yang dikonsumsi beban induktif atau kapasitif, dan memiliki satuan VAR, sedangkan akumulasi dari kedua daya itu adalah daya semu yang satuannya VA.

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa daya semu adalah garis miring, sedangkan daya aktif digambarkan dengan garis mendatar/horisontal dan daya reaktif adalah garis yang vertical [4].



Gambar 5 Segitiga daya

Daya semu adalah perkalian antara tegangan dan arus hasil pengukuran, seperti yang ditunjukkan persamaan 6.

$$S = V \times I \quad (6)$$

Keterangan :

S = Daya Semu [VA]

V = Tegangan AC [volt]

I = Arus AC [ampere]

Daya aktif adalah perkalian tegangan dan arus hasil pengukuran dikalikan

faktor daya seperti yang ditunjukkan Persamaan 7.

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (7)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif (watt)

$\phi$  = Sudut Faktor Daya (derajat)

Dari kedua persamaan tersebut, dapat didefinisikan nilai *Power factor displacement* (PFD) sesuai Persamaan 8.

$$PF_D = \frac{P}{S} = \cos \phi \quad (8)$$

Keterangan :

$PF_D$  = *Powerfactor Displacement*

Faktor daya yang diperoleh dari pengukuran, sebenarnya merupakan *power factor displacement*, bukan merupakan faktor daya keseluruhan sistem [5]. *Power factor displacement* dapat dianggap sebagai faktor daya total jika beban yang digunakan bersifat linier dan gelombang keluarannya berbentuk sinusoidal murni. Faktor daya total untuk beban non linier dipengaruhi oleh nilai *Power factor displacement*, nilai distorsi faktor daya, serta nilai total distorsi harmonisa sistem. Hubungan antara faktor daya dan harmonisa dapat dilihat pada Persamaan 9 dan Persamaan 10

$$PF_T = PF_D \times DPF \quad (9)$$

$$DPF = \frac{1}{\{1 + (THD_A)^2\}^{\frac{1}{2}}} \quad (10)$$

Keterangan :

$PF_T$  = Total faktor daya

$PF_D$  = *Displacement* faktor daya

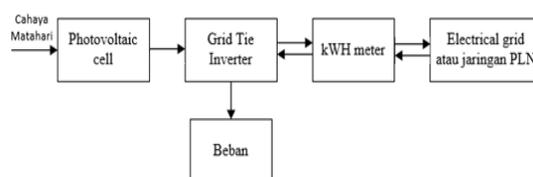
DPF = Distorsi faktor daya

THD = *Total Harmonic distortion*

## PENGUKURAN

### A. Blok Diagram Sistem

Diagram blok GTI dapat dilihat pada Gambar 6 [6].



Gambar 6 Diagram blok GTI

Cahaya matahari akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan *solar cell* (*Photo Voltaic*, PV) menjadi tegangan searah ( $V_{pv}$ ). Selanjutnya, di dalam GTI akan berlangsung dua proses, yaitu sinkronisasi tegangan keluaran PV dan kontrol daya. Sinkronisasi tegangan DC hasil PV dengan tegangan PLN dilakukan agar kedua tegangan memiliki nilai, fasa, urutan fasa dan frekuensi yang sama sebagaimana syarat paralel dua generator.

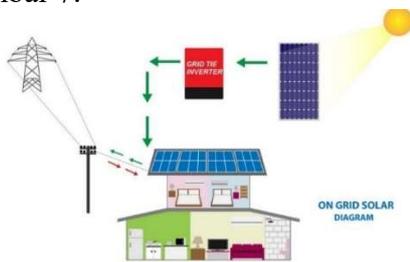
Kontroler akan mengatur daya hasil PV dan PLN ke beban. Jika energi yang diperoleh dari PV cukup untuk memenuhi kebutuhan daya pada beban, maka suplai dari PLN tidak dibutuhkan sehingga kWh meter tidak bergerak. Jika energi yang dihasilkan PV melebihi kebutuhan, maka GTI akan mensuplai balik ke PLN sehingga kWh meter akan putar balik (*count down*). Jika energi yang dihasilkan PV tidak cukup untuk memenuhi daya listrik, maka PLN akan memasok defisit daya listrik.

Adanya perubahan daya yang dipasok oleh PLN akan berakibat pada perubahan nilai faktor daya dan juga harmonisa sistem. Dalam hal ini yang akan diteliti lebih lanjut yaitu efek harmonisa sistem dan hasil pengukuran daya terhadap perubahan *power factor*. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur *power quality meter*.

### B. Konsep Dasar Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan meliputi pengukuran saat *Grid Tie Inverter* terhubung ke *solar cell* dan saat GTI tidak terhubung ke *solar cell*. Pada

24 jam pertama, GTI tidak dioperasikan agar dapat diketahui karakteristik sistem yang hanya terhubung PLN, lalu pada berikutnya, GTI diaktifkan kembali. Penggunaan GTI dapat diatur dengan menggunakan *switch*. Dilakukan pengukuran yang demikian agar dapat diketahui perbedaan nilai harmonisa sistem sebelum dan setelah penggunaan *solar cell*. Interval sampling data adalah 10 menit. Topologi jaringan pengukuran yang digunakan adalah Wye. Ilustrasi sistem *solar cell* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Ilustrasi sistem *solar cell*

Sistem *solar cell* yang telah dipasang berkapasitas 6.24 kW dengan menggunakan 24 panel yang disusun secara serial. Sistem dipasang menghadap utara dengan sudut orientasi sebesar  $180^\circ$  dan sudut kemiringan sebesar  $30^\circ$ . Lokasi pemasangan sistem tenaga surya memiliki koordinat :  $6.285782^\circ$  lintang selatan,  $106.779560^\circ$  bujur timur

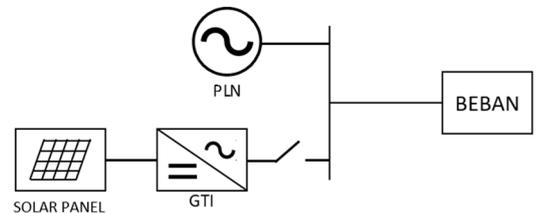
*Inverter* yang digunakan adalah *inverter* merk ABB dengan tipe TRIO-5.8-TL-OUTD-S. *Inverter* ini memiliki 1 *Maximum Power Point Tracking* untuk input dan memiliki sistem basisdata yang bernama *Aurora* sehingga data yang diperoleh oleh *inverter* akan di kirim ke *cloud* data.

### C. Single Line Diagram (SLD)

#### C.1 Sistem PLN tidak terhubung *solar cell*

Menonaktifkan *grid tie inverter* secara tidak langsung dapat menunjukkan karakteristik jaringan listrik PLN karena tanpa adanya GTI, listrik yang dihasilkan modul *solar cell* tidak dapat

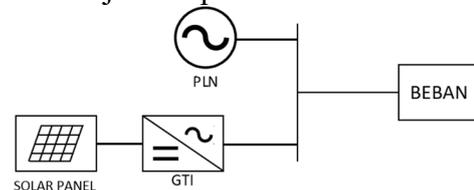
digunakan sebagai pengganti suplai listrik dari jaringan PLN. Gambar 8 adalah diagram garis yang menunjukkan skema rangkaian sistem *grid* tanpa *solar cell*:



Gambar 8 SLD sistem tanpa *solar cell*

#### C.2 Sistem PLN terhubung *solar cell*

Rangkaian PLN terhubung *grid tie inverter* merupakan rangkaian yang menunjukkan karakteristik sistem *solar cell*. Keluaran GTI yang digunakan harus terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN karena GTI memiliki karakteristik dapat menyesuaikan tegangan dan frekuensi keluarannya dengan jaringan listrik PLN. Diagram garis yang menunjukkan skema rangkaian sistem PLN yang terhubung GTI ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 SLD sistem dengan *solar cell*

### D. Pengukuran dengan *Power Quality Meter (PQM)*

Harmonisa dan total faktor daya sistem dapat ditentukan berdasarkan hasil pengukuran tegangan, arus, THD tegangan dan arus, daya aktif, reaktif dan semu, *Displacement Power factor* menggunakan *power quality meter*. Alat ini dapat merekam data harmonisa sistem dalam rentang waktu tertentu. Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan selama 48 jam dengan interval pengukuran setiap 10 menit sekali. Data yang sudah terekam di *Power quality meter* selanjutnya akan diolah

menggunakan *software* Power Log untuk memudahkan analisis data.

## HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

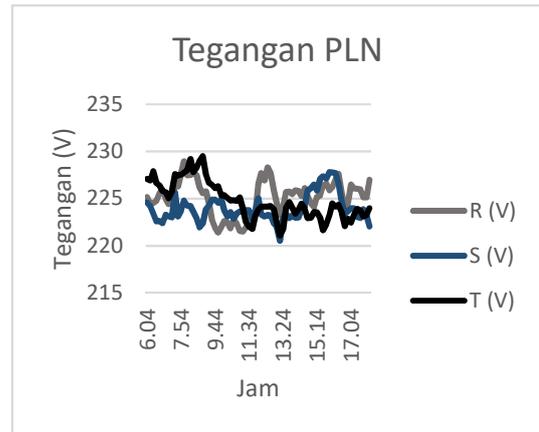
. Hasil pengukuran parameter-parameter harmonisa ini diperoleh dari dua macam pengukuran, yaitu pengukuran sistem jaringan PLN tanpa GTI dan pengukuran sistem jaringan PLN terhubung GTI.

### A. Analisis Pengukuran Sistem Jaringan PLN

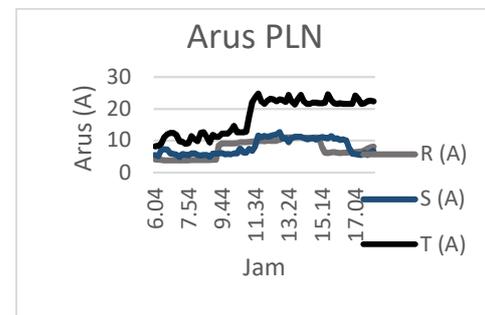
#### A.1 Pengukuran arus dan tegangan PLN

Pengukuran sistem jaringan PLN dilakukan tanpa menghubungkan sistem *solar cell* dengan cara menonaktifkan GTI. Oleh karena itu, hasil pengukuran ini secara tidak langsung menunjukkan karakteristik sistem jaringan PLN. Pengukuran parameter harmonisa sistem ini dilakukan selama 12 jam dengan selang waktu pengukuran 10 menit.

Dari Gambar 10, dapat dilihat bahwa nilai tegangan PLN pada ketiga fasa berkisar antara 218 V hingga 230.75 V yang masih dalam batas wajar menurut Standar PLN yaitu +5% hingga -10% dari 220 V, yaitu 198 V hingga 231 V. Sementara itu, nilai arus seperti terlihat pada Gambar 11 mengalami kenaikan yang cukup banyak pada fasa S dan T saat mendekati tengah hari dikarenakan penggunaan beban pada siang hari. Oleh karena adanya perbedaan nilai arus pada ketiga fasa, dapat disimpulkan bahwa pembebanan tidak seimbang.



Gambar10 Tegangan PLN



Gambar 11 Arus PLN

Pada kondisi beban seimbang, jumlah dari arus tiap fasa adalah nol yang ditunjukkan oleh Persamaan 11.

$$I_R + I_S + I_T = 0 \quad (11)$$

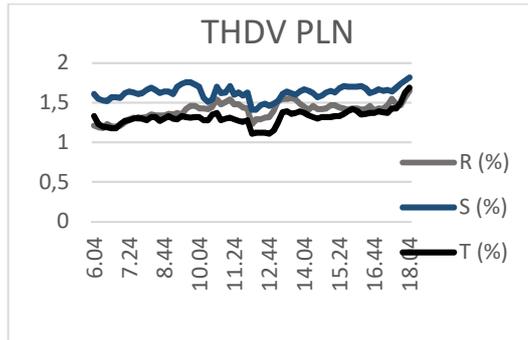
Sebagai contoh, digunakan data pada pukul 14:04 dengan  $I_R = 11.1 \angle 0^\circ$ ,  $I_S = 11.1 \angle 120^\circ$ , dan  $I_T = 24.3 \angle 240^\circ$

$$I_R + I_S + I_T = 13.15 \angle 239.62^\circ$$

Hasil dari penjumlahan ketiga arus fasa tidak sama dengan nol, maka dapat disimpulkan bahwa beban tidak seimbang.

#### A.2 Pengukuran harmonisa PLN

Gambar 12 hingga Gambar 13 menunjukkan nilai persentase THD tegangan dan THD arus.



Gambar 12 THD tegangan PLN

Nilai persentase rata-rata THD tegangan pada masing-masing fasa dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 THDV PLN (%)

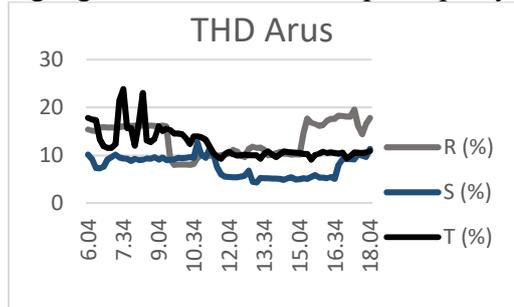
Fasa	Minimum	Maksimum	Rerata
R	1.18	1.65	1.40
S	1.41	1.82	1.63
T	1.11	1.69	1.31

Nilai THD tegangan rata-rata sistem yang terukur masih di bawah standar batas harmonisa tegangan IEEE sebesar 5%, sehingga dapat disimpulkan sistem jaringan PLN yang ada sudah baik.

Contoh perhitungan THD tegangan pada pukul 18:04 pada fasa R dengan tegangan fundamental (Vf) sebesar 227 V:

$$THD_V = \frac{1}{227} \times (6.983)^2 \times 100 = 1.36\%$$

Hasil perhitungan dan pengukuran THD tegangan memiliki deviasi rata-rata sebesar 0.216. Perbedaan hasil pengukuran dan perhitungan disebabkan data yang digunakan pada perhitungan adalah nilai tegangan rata-rata dari setiap sampelnya.



Gambar 13 THD arus PLN

Nilai persentase rata-rata THD arus pada masing-masing fasa dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai THD arus rata-rata sistem yang terukur pada fasa R dan T sudah melebihi 10%, sehingga sudah berada pada ambang batas wajar. Sementara itu THDA rata-rata pada fasa S masih relatif rendah.

Tabel 3 THDA PLN (%)

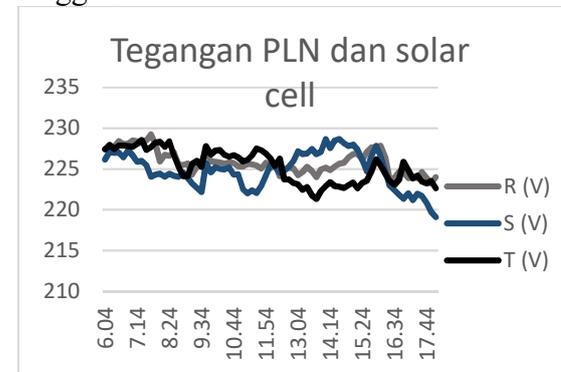
Fasa	Minimum	Maksimum	Rata-rata
R	8	19.57	13.45
S	4.33	12.69	7.74
T	9.12	23.85	12.35

Tingginya nilai THD arus ini menunjukkan adanya penggunaan beban non linier yang tinggi dan berdampak pada nilai harmonisa sistem, karena nilai THDA mencerminkan kondisi beban.

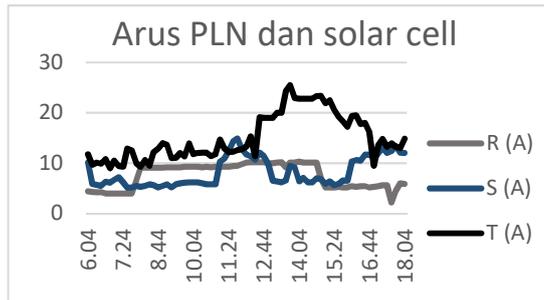
## B. Analisis Pengukuran Sistem Jaringan PLN dan Solar Cell

### B.1 Pengukuran arus dan tegangan PLN dan solar cell

Hasil pengukuran tegangan dan arus sistem ditunjukkan pada Gambar 14 hingga Gambar 15. Dari Gambar 18, dapat dilihat bahwa nilai tegangan PLN pada ketiga fasa berkisar antara 219 V hingga 229.25 V yang masih tergolong wajar menurut Standar PLN yaitu +5% hingga -10% dari 220 V, yaitu 198 V hingga 231 V.



Gambar 14 Tegangan PLN dan solar cell



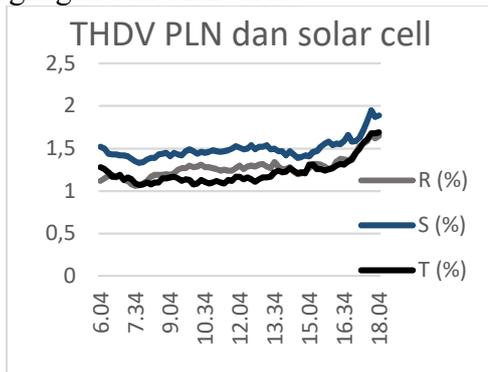
Gambar 15 Arus PLN dan solar cell

Nilai arus pada fasa R cenderung lebih stabil berkisar antara 2.2 A hingga 10.3 A. Sementara itu, nilai arus fasa T mengalami kenaikan yang cukup signifikan saat mendekati tengah hari dikarenakan penggunaan beban pada siang hari.

Oleh karena adanya perbedaan nilai arus pada ketiga fasa, dapat disimpulkan bahwa pembebanan tidak seimbang. Hal ini telah dibuktikan melalui Persamaan 12 pada pengukuran PLN.

**B.2 Pengukuran harmonisa PLN dan solar cell**

Gambar 16 hingga Gambar 17 menunjukkan nilai persentase THD tegangan dan THD arus.



Gambar 16 THD tegangan PLN dan solar cell

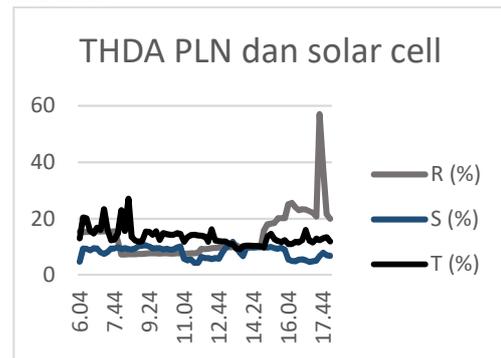
Nilai persentase rata-rata THD tegangan pada masing-masing fasa dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 THDV PLN dan solar cell (%)

Fasa	Minimum	Maksimum	Rerata
R	1.06	1.66	1.28
S	1.33	1.95	1.50
T	1.07	1.69	1.22

Nilai THD tegangan rata-rata sistem yang terukur masih di bawah standar batas harmonisa tegangan IEEE sebesar 5%, dan nilai rata-rata THDV PLN dan solar cell untuk semua fasa lebih kecil daripada nilai rata-rata THDV jaringan PLN. Rendahnya nilai THDV pada pengukuran PLN dan solar cell ini disebabkan adanya filter harmonisa pada GTI, sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan nilai harmonisanya lebih kecil.

Nilai THD arus rata-rata sistem yang terukur pada fasa R dan T sudah melebihi 10%, sehingga sudah berada pada ambang batas. Sementara itu THDA rata-rata pada fasa S masih relatif rendah. Fenomena ini juga terjadi pada pengukuran THD arus jaringan PLN, sehingga dapat dikatakan bahwa ada beban non linier yang terhubung pada fasa R dan T dan berdampak pada tingginya nilai THD arus kedua fasa tersebut.



Gambar 17 THD arus PLN

Tabel 5 THDA PLN dan solar cell (%)

Fasa	Minimum	Maksimum	Rerata
R	7.3	57.03	13.88
S	4.35	11.88	8.18
T	9.23	27.08	13.67

THD arus pada fasa R sempat mengalami lonjakan yang tinggi saat

sore hari tepatnya pukul 17:00 hingga 18:00 hingga mencapai 57.03%. Tingginya nilai THD arus ini menunjukkan adanya penggunaan beban non linier yang tinggi dan berdampak pada nilai harmonisa sistem, karena nilai THDA mencerminkan kondisi beban.

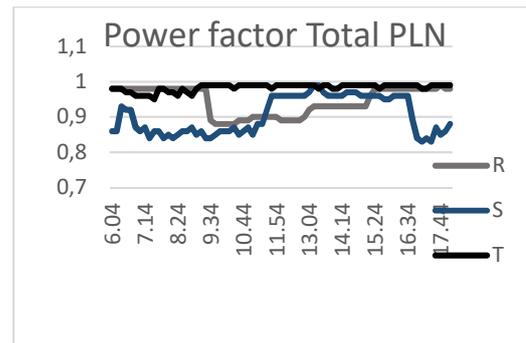
Dibandingkan dengan nilai  $THDA_{PLN}$ , nilai  $THDA_{PLN}$  dan *solar cell* ini relatif lebih kecil dengan perbedaan yang relatif rendah. Penggunaan beban yang berbeda berdampak pada hasil pengukuran THDA ini.

### C. Analisis Power Factor Total PLN dan PLN dengan Solar Cell

Perhitungan *power factor* pada umumnya hanya menyertakan komponen daya aktif, daya reaktif, dan daya semu saja. Hal itu sebenarnya hanya berlaku jika beban bersifat linier dan gelombang keluarannya berbentuk sinusoidal murni. Dengan adanya tambahan beban non linier, yang memiliki dampak pada nilai harmonisa sistem, terjadi distorsi *power factor* yang akan mempengaruhi nilai *power factor* total. Komponen yang berpengaruh pada nilai *power factor* total adalah nilai komponen daya seperti daya semu, daya aktif, dan daya reaktif, nilai komponen *power factor displacement*, dan nilai komponen harmonisa.

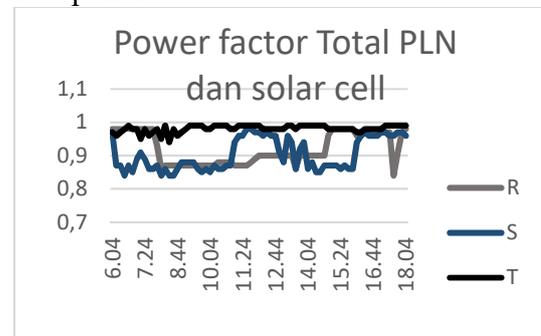
#### C.1 Pengukuran power factor

Hasil pengukuran *power factor* total pada sistem sebelum dan setelah GTI dioperasikan disajikan pada Gambar 18 dan Gambar 19.



Gambar 18 PFT PLN

Nilai persentase rata-rata PFT masing-masing fasa dapat dilihat pada Tabel 6, Pada pengukuran PFT PLN, nilai *power factor* fasa T tergolong sangat baik, karena berada pada kisaran 0.95 hingga 0.99 dengan nilai reratanya 0.98. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang terhubung ke fasa T memiliki PF yang baik. Nilai PFT fasa T sempat turun karena THDA sempat naik ke angka 20%. Nilai PFT yang cukup rendah terjadi pada fasa S, di pagi hari, nilai fasa S hanya berada pada kisaran 0.85 dan bahkan sempat kurang dari 0.85 saat pukul 17:04.



Gambar 19 PFT PLN dan solar cell

Tabel 6 PFT PLN

Fasa	PLN			PLN dan solar cell		
	Min	Maks	Rerata	Min	Maks	Rerata
R	0.88	0.99	0.95	0.84	0.98	0.92
S	0.83	0.99	0.90	0.84	0.98	0.90
T	0.95	0.99	0.98	0.94	0.99	0.98

Pada pengukuran PLN dengan GTI dioperasikan, nilai PFT fasa T masih merupakan yang paling baik karena stabil di atas 0.9. Sementara itu, untuk fasa R dan S masih tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran PLN, perbedaan hanya disebabkan perbedaan

waktu pengantifan beban karena nilai rata-rata keseluruhan masih sama.

Secara keseluruhan, nilai PFT sistem baik dengan GTI maupun tanpa GTI masih berada pada batas yang diizinkan PLN. Dampak yang ditimbulkan harmonisa pada distorsi faktor daya dan nilai faktor daya total juga masih bisa ditoleransi karena nilai *power factor* total dan *power factor displacement* pada sistem tidak jauh berbeda.

## KESIMPULAN

Simpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah:

1. Pembebanan yang ada pada Rumah X tidak seimbang yang dapat dibuktikan dengan menghitung jumlah arus total dari ketiga arus fasa yang tidak sama dengan nol, pada pembebanan yang seimbang topologi jaringan Wye, jumlah ketiga harus fasa harus sama dengan nol.
2. Nilai THDV ketiga fasa baik pada sistem PLN tanpa *solarcell* dan dengan *solarcell* masih tergolong baik menurut standar IEEE 519-1992 yaitu 8% untuk suplai tegangan di bawah 1 kV
3. Nilai THDV rata-rata ketiga fasa pada sistem PLN dengan *solarcell* lebih rendah dari nilai THDV rata-rata ketiga fasa pada sistem PLN tanpa *solarcell* yang disebabkan adanya tambahan filter pada *inverter*TRIO-5.8-TL-OUTD-S. Hal ini menunjukkan bahwa suplai listrik dari *solarcell* lebih baik dilihat dari kecilnya nilai THDV
4. THDA pada fasa R dan T baik pada sistem PLN dengan dan tanpa *solarcell* nilainya lebih dari 10% yang mengindikasikan adanya beban bersifat non linier yang banyak terhubung ke kedua fasa

itu, karena kualitas beban mempengaruhi nilai THDA.

5. Nilai *power factor* total pada kedua sistem relatif sama mengingat pengukuran dilakukan di konsumen golongan rumah tangga yang penggunaan bebannya masih cenderung normal dan bukan beban yang biasa digunakan di industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad, R. H. 1993. Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- [2] Purnama, Agus. 2012. Inverter DC ke AC, (<http://elektronika-dasar.web.id/inverter-dc-ke-ac/>, diakses 18 Oktober 2016).
- [3] Tie Inverter Schematic and Principles of Opera <http://solar.smeps.us/grid-tie-inverter-schematic.html>, diakses 18 oktober 2016).
- [4] Kristin, L. 2015. Understanding Power Factor and Harmonics, ([http://www.motioncontrolonline.org/content-detail.cfm/MotionControlTechnical-Features/UnderstandingPowerFactorandHarmonics/content\\_id/1545](http://www.motioncontrolonline.org/content-detail.cfm/MotionControlTechnical-Features/UnderstandingPowerFactorandHarmonics/content_id/1545), diakses 23 oktober 2016)
- [5] Gerritt, L. 2009. How PV Grid-Tie Inverters Can Zap Utility Power Factor, (<http://www.renewableenergyworld.com/articles/2009/10/how-pv-grid-tie-inverters.html>, diakses 19 Oktober 2016)
- [6] Guruh Srisadad.2011. Perancangan Simulasi Sistem Rumah Solar Cerdas Terhubung Jaringan PLN, Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- [7] Masri S. dan Kheng, K. W. 2010. Single Phase Grid Tie Inverter for Solar cell Application. IEEE.