

PENGUKURAN DAN SIMULASI PENGURANGAN HARMONISA DENGAN FILTER PASIF PADA SISTEM PLTS *Measurement And Simulation Reduction Of Harmonic By Passive Filter At System Of Photovoltaic*

Yadin Akhmalagani, Agung Budi Muljono^{*1}, I Made Ginarsa¹
¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas mataram, NTB
Email:^{*1} agungbm@unram.ac.id (Corresponding Author), ¹kadekgin@unram.ac.id

ABSTRAK

Kualitas daya terdiri dari beberapa variabel seperti tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, dan harmonisa. Semua variabel tersebut harus memiliki kualitas yang baik ketika beroperasi sehingga listrik yang sampai kepada konsumen terjaga kualitasnya. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ini terdapat suatu proses konversi energi menggunakan inverter yang merupakan perangkat non linier yang dapat menimbulkan harmonisa yang biasanya dilambangkan dengan Total Harmonic Distortion (THD). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran dan simulasi pengurangan harmonisa dengan filter pasif yakni single tune filter pada sistem PLTS On-Grid. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur kualitas daya yakni 3 Phase Power and Harmonic Analyzer. Hasil pengukuran didapatkan nilai % THDi sebesar 33,33% dengan menggunakan beban gabungan linier dan non linier. Setelah dilakukan pengukuran, didesain simulasi filter untuk mereduksi harmonisa pada orde 3, 5, 7, 9, dan 11. Hasil simulasi setelah pemasangan filter, harmonisa yang dapat direduksi sebesar 20,55% pada orde 3 dengan parameter $L = 0,200$ mH dan $C = 2,95$ μ F. Berdasarkan standar IEEE 512-1992 nilai harmonisa sudah sesuai dengan standar yang diijinkan sebesar 20%.

Kata Kunci : PLTS, THD, Single Tune Filter, 3 Phase Power and Harmonic Analyzer, Standar IEEE 519TM-2014

ABSTRACT

Power quality consists of several variables such as voltage, current, frequency, power factor, and harmonics. All of these variables must have good quality when operating so that electricity reaches consumers. The photovoltaic system has an energy conversion process using an inverter which is a non-linear device that can generate harmonics which are usually denoted by Total Harmonic Distortion (THD). In this research, measurements and simulations of harmonic reduction with a passive filter were taken, namely single tune filter on the photovoltaic On-Grid system. Measurements were made using a power quality measuring device namely 3 Phase Power and Harmonic Analyzer. The measurement results obtained by the value of THDi of 33.33% using linear and non-linear combined loads. After the measurement, a filter simulation was designed to reduce harmonics on order 3, 5, 7, 9, and 11. Simulation results after filter installation, harmonics which can be reduced by 20.55% in order 3 with parameters $L = 0.200$ mH and $C = 2.95$ μ F. Based on the IEEE standard 512-1992 the harmonic value is in accordance with the permitted standard of 20%.

Keywords: PLTS, THD, Single Tune Filter, 3 Phase Power and Harmonic Analyzer, IEEE Standard 519TM-2014

PENDAHULUAN

Penggunaan energi di Indonesia dengan bahan bakar fosil hingga saat ini semakin meningkat, sehingga cadangan bahan bakar fosil semakin menipis. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka digunakan pembangkit energi listrik dengan energi terbarukan. Dimana Dewan Energi Nasional (DEN) telah menskenariokan, pada tahun 2025 pemanfaatan EBT di

Indonesia menjadi berimbang dengan penggunaan energi fosil. Penggunaan energi EBT dari 5.7% diharapkan meningkat hingga 23% pada tahun 2025. Untuk mengatasi permasalahan diatas maka diperlukan pembangkit tenaga listrik alternatif berupa sumber energi terbarukan seperti PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). PLTS merupakan sistem

pembangkit listrik yang dapat merubah intensitas radiasi energi matahari menjadi energi listrik DC yang dapat digunakan secara langsung ataupun disimpan menggunakan baterai dan dikonversikan menggunakan inverter.

Peralatan konversi seperti inverter merupakan suatu perangkat non linier yang dapat menyebabkan terjadinya cacat gelombang sinusoidal murni yang disebabkan oleh proses pensaklaran pada perangkat konverter. Keadaan ini disebut dengan harmonisa dan pada umumnya dilambangkan dengan persentase *Total Harmonic Distortion* (THD).

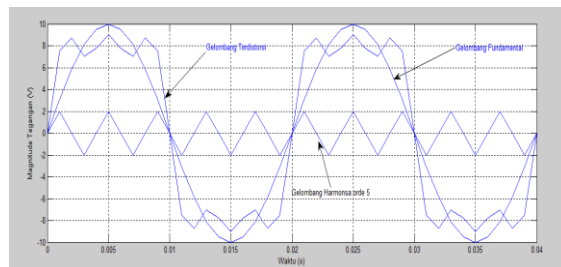
Pengukuran harmonisa dengan menggunakan *Power Quality Analyzer Fluke 43 Bentuk* Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik menghasilkan % THDi sebesar 20% (Mulyana, 2008). Simulasi pengurangan nilai THDi dan THDv menggunakan filter pasif pada inverter dengan berbagai jenis beban dengan Matlab dibandingkan dengan pengukuran dengan *Power Quality Clamp Meter 345* yang digunakan untuk mengukur parameter-parameter seperti tegangan, arus, daya, frekuensi, dan factor daya, (Fitria, 2010).

Salah satu cara untuk menanggulangi harmonisa adalah dengan menggunakan filter pasif. Dimana filter pasif ini dapat mereduksi harmonisa pada orde tertentu yang terdiri dari rangkaian LC yang dihubung seri. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran tingkat harmonisa pada sistem PLTS tersebut guna mengetahui seberapa besar nilai harmonisa pada sistem tersebut, apakah sudah sesuai dengan standar IEEE Std 519™, 2014 yang diijinkan sehingga aman untuk sistem. Sehingga dalam penelitian bertujuan melakukan *Pengukuran dan Simulasi Pengurangan Harmonisa Dengan Filter Pasif Pada Sistem PLTS*.

Kualitas Daya

Kualitas daya merupakan konsep dari sumber energi pada peralatan elektronik yang bersifat sensitif agar peralatan dapat bekerja sesuai dengan kapasitasnya. Bagian kualitas daya terdiri dari : tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, dan harmonisa. Nilai harmonisa menjadi salah satu dari bagaian kualitas daya berdasarkan *Standart IEC (International Electrotechnical Commission)*

1000.4-11, gangguan harmonisa tergolong kedalam distorsi bentuk gelombang (Dugan R.C., dkk, 1996). Pada fenomena ini terjadi perubahan bentuk gelombang dari gelombang dasarnya. Harmonisa adalah gelombang tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi yang merupakan hasil kali integer dari frekuensi dasar dimana suplai sistem dirancang untuk beroperasi (biasanya 50 atau 60 Hz), seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Gelombang fundamental dengan gelombang harmonisa

Salah satu cara yang paling umum untuk menyatakan besarnya distorsi Harmonisa yang terjadi dalam suatu sistem adalah THD (*Total Harmonic Distortion*). Untuk menentukan besarnya THD digunakan persamaan sebagai berikut (Arrilaga, J., dkk, 2003):

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} Ih^2}}{I1} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$THDi = \frac{\sqrt{I2^2 + I3^2 + I4^2 \dots\dots\dots + Ih^2}}{I1} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} Vh^2}}{V1} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

$$THDv = \frac{\sqrt{V2^2 + V3^2 + V4^2 \dots\dots\dots + Vh^2}}{V1} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$$fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan :

THD = Distorsi Harmonisa Total (%)

I1 = Arus frekuensi dasar (A)

Ih = Arus harmonisa ke-h (A)

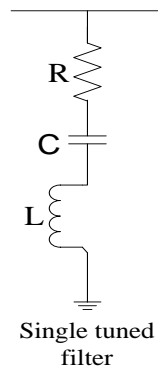
V1 = Tegangan frekuensi dasar (V)

Vh = Tegangan harmonisa ke-h (V)

h = Bilangan integer 2, 3, 4, 5,

Salah satu cara mengatasi harmonisa adalah dengan menggunakan filter pasif. Pada penelitian menggunakan single tune filter untuk mereduksi harmonisa dengan menggunakan prinsip

frekuensi resonansi untuk penalaan filter, (Prasetyadi dkk,2012)



Gambar 2 Single Tune Filter

Pada frekuensi f_r , *single tuned filter* memiliki nilai impedansi sebesar nilai resistansi R (Ω) dari inductor L (H) Oleh karena itu, filter ini menyerap semua arus harmonisa yang dekat dengan frekuensi f_r yang diinjeksikan, dengan distorsi tegangan harmonisa yang rendah pada frekuensi ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran untuk mengetahui nilai harmonisa pada sistem PLTS On-Grid yang ada di Laboratorium Energi Baru

Terbarukan Fakultas Teknik Universitas Mataram menggunakan *Three Phase Power Analyzer* DW-6095 (LT Lutron,2018). Kemudian mendesain filter pasif dengan menggunakan program Matlab untuk mereduksi harmonisa pada orde 3, 5, 7, 9, 11.

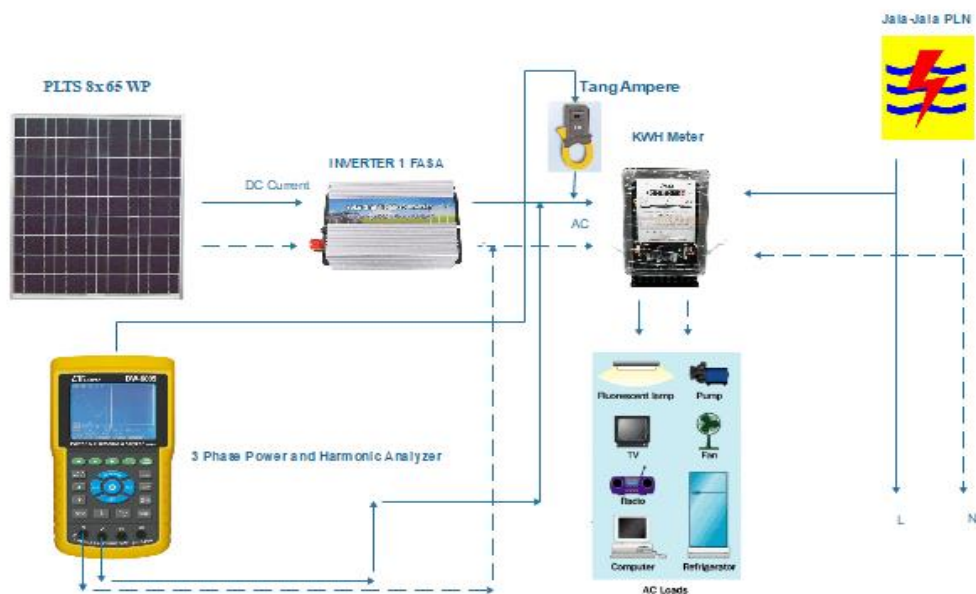
Alat penelitian. Alat-alat yang digunakan sebagai berikut :

- Perangkat keras :Laptop Asus X550DP, *Three Phase Power Analyzer* DW-6095, Panel Surya *ND-T065M1 POLY-CRISTALLINE SILICON PHOTOVOLTAIC* 8 x 65 WP , *Grid Tie Inverte*, *Lux Meter*, dan *Multimeter*.

Bahan Penelitian : Penelitian ini akan mengolah data berupa tegangan, arus, frekuensi, daya aktif, daya reaktif, daya semu, faktor daya, harmonisa dan beberapa beban rumah tangga yang merupakan beban linier dan non linier seperti : Lampu pijar, TV, kipas angin, laptop, kulkas, dan seterika.

Prosedur Penelitian

1. Studi literatur
2. Mempersiapkan alat dan bahan
3. Mengumpulkan data spesifikasi beban dan pengukuran beban



Gambar 3. Rancangan rangkaian pengukuran

4. Perancangan simulasi beban
5. Perancangan rangkaian pengukuran
6. Pengolahan data dan analisa hasil
7. Simulasi dengan menggunakan simulink pada Matlab

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran satu fasa dengan dua kabel. Kabel probe tegangan dihubungkan paralel pada terminal keluaran inverter dan tang ampere dihubungkan pada kabel fasa keluaran inverter. Setelah pengukuran pada keluaran inverter selesai, maka pengukuran dilakukan pada terminal jala-jala PLN dan pada sisi beban guna melihat pembagian arus pada sistem PLTS On-grid dan sumbangan harmonisa tertinggi pada titik pengukuran.

Simulasi Simulink pada Matlab

Simulasi didesain menggunakan simulink pada Matlab yang terdiri dari beberapa blok diagram seperti sumber tegangan, impedansi saluran, impedansi beban, rangkaian alat ukur tegangan dan arus, sumber harmonisa dan power gui. Sumber harmonisa diasumsikan berasal dari beban sehingga pemasangan filter di paralel pada sisi beban pada orde 3, 5, 7, 9, dan 11

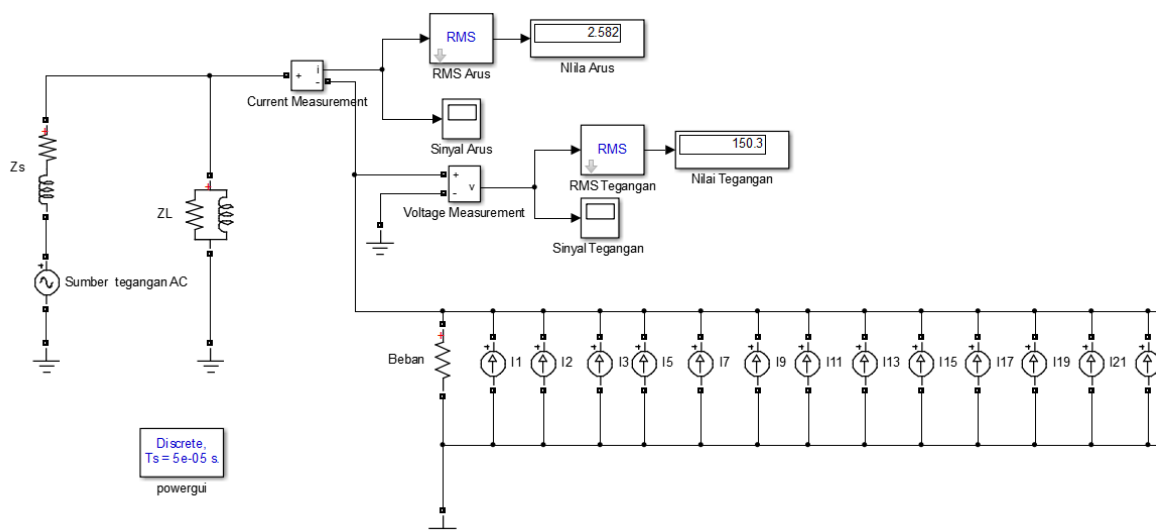
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran pada sistem PLTS On-Grid

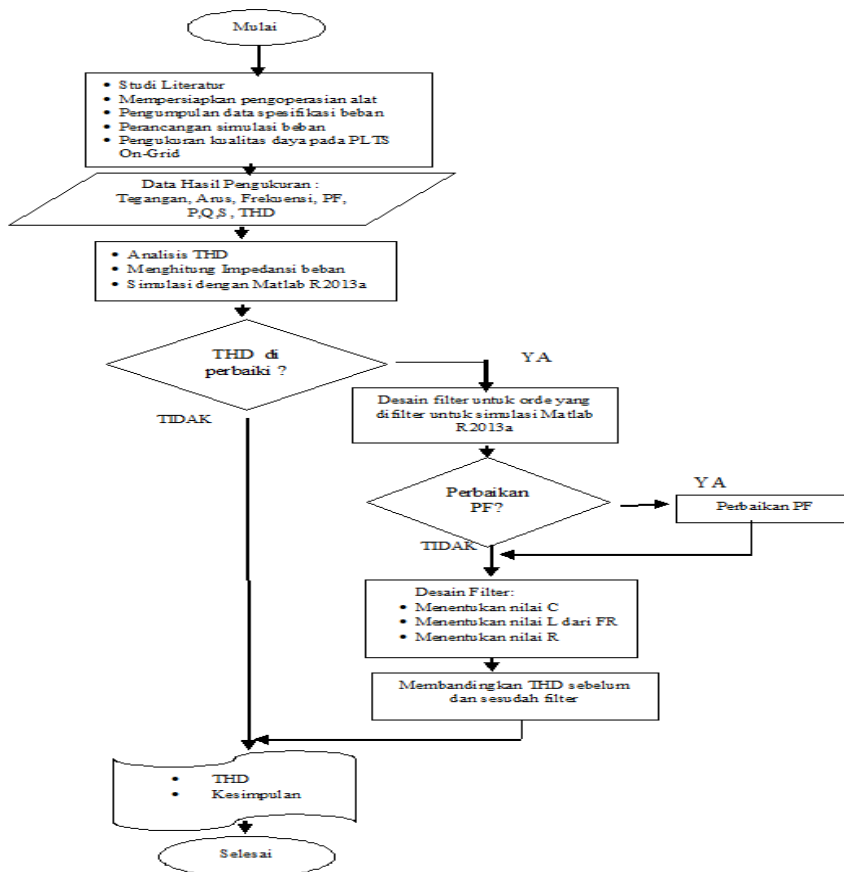
dengan skenario pembebanan linier dan non linier sehingga dapat dibuktikan beban non linier menyumbang harmonisa yang tinggi.

Tabel 1 merupakan hasil pengukuran kualitas daya dengan sumber PLTS On-Grid menggunakan beban gabungan linier dan non-linier yang terdiri dari beban beberapa beban rumah tangga. Untuk kualitas daya berupa tegangan frekuensi dan faktor daya didapat nilai cukup baik yang masih dalam standar operasi yang baik. Untuk nilai % THDv didapat nilai yang cukup tinggi yakni 5% yang sudah mencapai standar batas maksimum dari % THDv untuk tegangan rendah. Sedangkan untuk nilai %THDi didapat nilai yang tinggi yakni 28.5% yang sudah melewati batas maksimum dari standar % THDi yang di perbolehkan yakni sebesar 20%. Jika dibandingkan dengan penggunaan beban non linier % THDi yang didapat pada beban gabungan ini tentu lebih rendah karena adanya beban linier yang mensuplai arus yang lebih rendah nilai %THDi namun memiliki magnitudo yang tinggi. Sehingga jika dijumlahkan %THDi akan menurun

Gambar 6 merupakan bentuk gelombang arus yang sudah terdistorsi akibat dari adanya harmonisa, namun bentuk gelombang masih simetris karena adanya kemunculan harmonisa dominan pada orde-ganjil



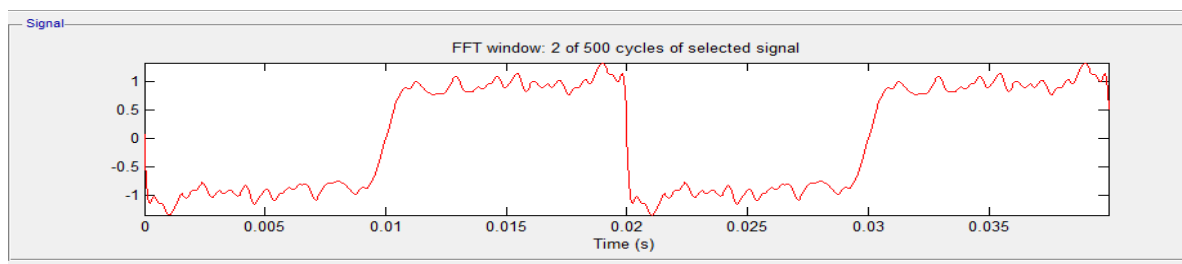
Gambar 4 Simulasi pemasangan filter



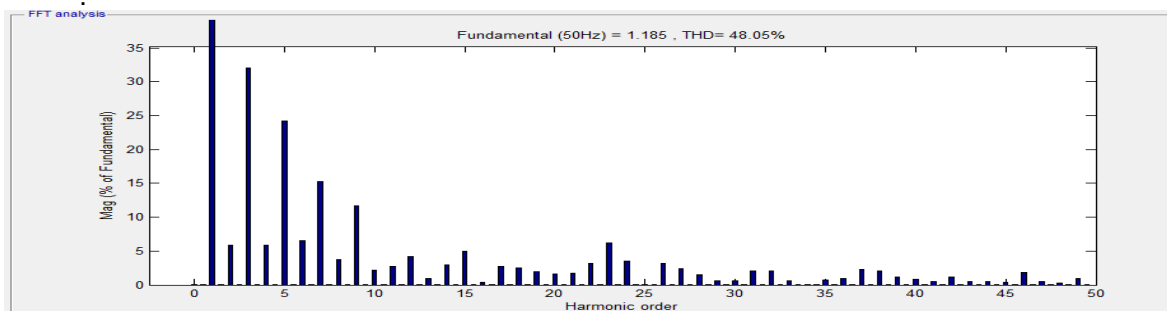
Gambar 5 Diagram alir penelitian

Tabel 1 Hasil pengukuran kualitas daya dengan beban gabungan linier dan non linier PLTS On-Grid

NO	Nama perangkat	Jumlah	P (Watt)	Q (Var)	S(VA)	Pf	I (A)	Tegangan (V)	F (Hz)
1.	Lampu Pijar	1 x 90	90	80,5	725	0,98	3.487	208	50
		3 x 60	180						
		1 x 15	30						
2.	Kipas Angin	1	40						
3.	Seterika	1	325						
4.	Televisi	1	50						
5.	Laptop	2	40						
6.	Kulkas	1	60						
Total Daya (W)			715						
Total %THDv			5 %						
Total %THDi			28,5%						



Gambar 6 Gelombang arus beban gabungan linier dan non linier



Gambar 7 Spektrum harmonisa arus beban gabungan linier dan non linier

Gambar 7 merupakan spektrum harmonisa dengan menggunakan beban gabungan linier dan non-linier didapat nilai spektrum harmonisa pada orde ganjil memiliki nilai yang paling tinggi dimana magnitude yang cukup tinggi muncul pada orde ke-15 dan semakin menurun hingga orde ke-50.

Perbaikan faktor daya:

$P = 454 \text{ Watt}$

$Pf \text{ awal} = 0,95$

$Pf \text{ perbaikan} = 0,99$

$$Q_c = P \{ \tan(\cos^{-1} pf_1) - \tan(\cos^{-1} pf_2) \}$$

$$= 454 \{ \tan(\cos^{-1} 0,95) - \tan(\cos^{-1} 0,990) \}$$

$$= 454 \{ \tan(18,19) - \tan(8,110) \}$$

$$= 84,88 \text{ VAR}$$

Desain Filter Orde ke-3

Menentukan nilai parameter L dan C untuk orde ke tiga dengan menggunakan prinsip frekuensi resonansi

Menentukan reaktansi kapasitor (X_c):

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c}$$

$$X_c = \frac{213^2}{84,88}$$

$X_c = 534,50 \Omega$

Menentukan kapasitansi dari kapasitor (C) :

$$C = \frac{1}{2 \pi f_0 X_c}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 534,50}$$

$$C = 5,95 \mu\text{F}, C = 5,95 \text{ F}$$

Menentukan nilai Induktor dengan menggunakan persamaan frekuensi resonansi

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$150 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times 5,95 \times 10^{-6}}}$$

$$150 \times 2\pi = \frac{1}{\sqrt{L \times 5,95 \times 10^{-6}}}$$

$$(150 \times 2\pi)^2 = \frac{10^6}{5,95 \times L}$$

$$L = \frac{10^6}{(150 \times 2\pi)^2 \times 5,95}$$

$L = 200 \text{ mH}$

Tabel 2 Spesifikasi single tune filter

Spesifikasi	Orde Filter				
	3	5	7	9	11
QVAR	84,88 VAR	84,88 VAR	84,88 VAR	84,88 VAR	84,88 VAR
XC	534,50 Ω	534,50 Ω	534,50 Ω	534,50 Ω	534,50 Ω
C	5,95 μF,	5,95 μF,	5,95 μF,	5,95 μF,	5,95 μF,
L	200 mH	68.3 mH	34.9 mH	21.1 mH	14.1 mH
Rating tegangan	213 V	213 V	213 V	213 V	213 V

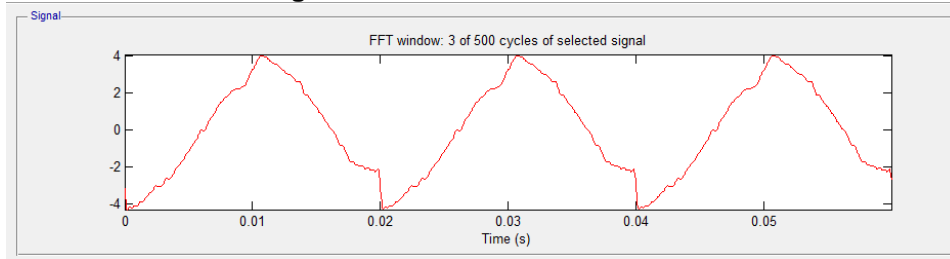
Tabel 2 merupakan spesifikasi single tune filter dari orde 3, 5, 7, 9, dan 11 yang

terdiri dari parameter L dan C yang dihitung dengan menggunakan program Matlab sehingga dapat mengefektifkan waktu untuk

perhitungan. Nilai paramter single tune filter semakin tinggi orde maka nilai induktor akan

semakin rendah dengan menggunakan prinsip frekuensi resonansi.

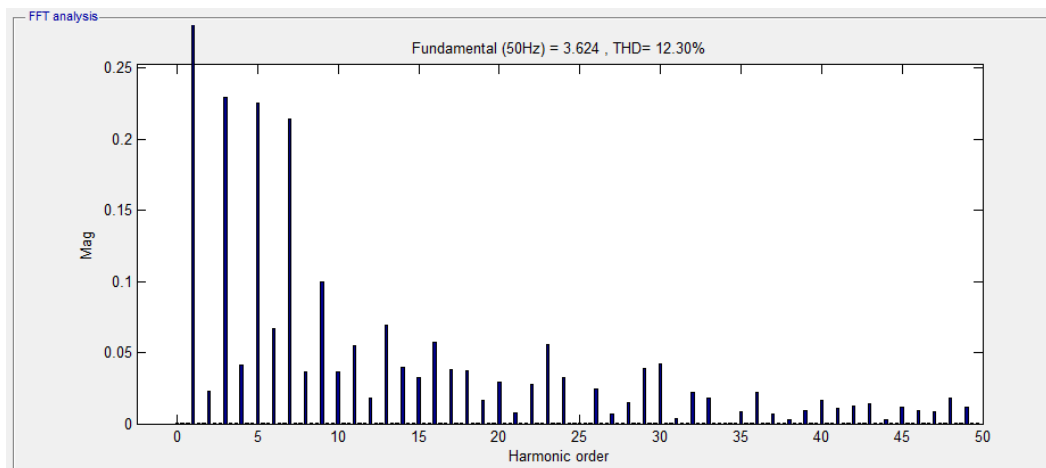
Hasil Simulasi Setelah Pemasangan Filter



Gambar 8 Gelombang arus setelah pemasangan filter pada orde ketiga

Gambar 8 merupakan hasil simulasi setelah pemasangan filter pada orde ketiga dimana bentuk gelombang mengalami

perubahan yang awalnya masih banyak distorsi menjadi lebih bersih dari distorsi karena pemasangan filter.



Gambar 9 Spektrum harmonisa arus setelah pemasangan filter pada orde ketiga

Gambar 9 merupakan spektrum gelombang arus setelah pemasangan filter pada orde ketiga. Nilai harmonisa mengalami penurunan dari 33.33% menjadi 12.30% sehingga bentuk gelombang menjadi lebih bagus.

Tabel 3 merupakan hasil penurunan harmonisa pada masing-masing orde dimana semakin tinggi harmonisa yang direduksi maka nilai harmonisa akan semakin rendah.

Tabel 3 hasil penurunan harmonisa pada setiap orde

%THDi sebelum pemasangan filter	% THDi setelah pemasangan filter				
	Orde 3	Orde 5	Orde 7	Orde 9	Orde 11
33.33 %	12.78 %	4.46 %	2.30%	1.39%	1.21%

Kesimpulan

1. Nilai Harmonisa pada sistem PLTS On-Grid rata-rata dengan pembebanan linier dan non linier didapat nilai yang sudah melewati standar yang di iijinkan yakni sebesar 20% (Standar IEEE 519TM-2014)
2. Sebelum pemasangan filter didapat nilai THDv dan THDi sebesar 4,5% untuk THDv dan 28,5% untuk THDi dan setelah pemasangan filter dari orde 3,5,7,9, dan 11 dengan parameter yang terdiri dari nilai L= 200 mH, dan C= 5,95 μ F untuk orde ke-3 didapat nilai THDi dan THDv sebesar 1,21% untuk THDv dan 12,78% untuk THDi dimana semakin tinggi orde yang dipasang maka harmonisa yang direduksi semakin tinggi. Jadi dapat dikatakan filter bekerja dengan baik.
3. Setelah masuknya sistem PLTS On-Grid pada jala-jala PLN didapatkan nilai % THDv yang paling tinggi pada jala-jala PLN sebesar 6,8% dimana sebelum masuknya sistem PLTS nilainya sebesar 3%. Untuk nilai % THDi nilai tertinggi didapat pada output inverter yaitu sebesar 51,6 % inverter menyumbang harmonisa terbesar pada sistem yang mempengaruhi jala-jala PLN yang awalnya nilai % THDi sebesar 12,6% menjadi 28,5% setelah masuknya sistem PLTS.

DAFTAR PUSTAKA

- Fitria H., 2010, Simulasi Pengaruh THDv danTHDi Menggunakan Filter Pasif pada Inverter dengan Berbagai Jenis Beban, TugasAkhir, Teknik Elektro Universitas Mataram
- LT Lutron,2018. *Opration Manual 3 Phase Power Analyzer DW-609*. Test and Measurement Instrument C.C. Timi home
- IEEE Standards Assiciation, 2014. *IEEE 519TM Recommended Practice and Requirement for Harmonic Control in Electric Power Systems*. IEEE 3 Park Avenue New York USA.
- J. Arrilaga, Bradley D.A., Bodger, P.S., 2003, *Power System Harmonics*, New York, John Wiley & Sons.
- Mulyana E., 2008, *Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik di Gedung Disrektorat TIK Universitas Pendidikan Indonesia*. Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FPTK Universitas

Pendidikan Indonesia. ISSN 169-9085 Vol. 8 Nomor 2,

Prasetijo Hari, 2012, *Analisa Perancangan Filter Pasif untuk Meredam Harmonik pada Instalasi Beban Non Linier*. Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknik Universitas Jendral Soedirman. Techno ISSN 1410-8607 Vol. 13 No. 1

Roger C Dugan, Mark F. Mc-Granaghan, H. Wayne Beaty, 1996, *Electrical Power System Quality*, New York, Mc-Grraw