

ANALISA HARMONISA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *OFF – GRID* 290 Wp DENGAN KOMBINASI BEBAN LINIER DAN NON LINIER DI GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UKI – JAKARTA MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK

¹Elisabeth Faustina Ene Openg*,²Bambang Widodo,³Robinson Purba

¹Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia

^{1,2,3} Jl. Mayjen Sutoyo No.2, Cawang, Jakarta Timur, 13630, DKI Jakarta

*Corresponding author: elsaopeng18@gmail.com

Abstrak

Makalah ini merupakan hasil penelitian terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off – grid* 290 Wp (Watt-peak) di Gedung Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia – Jakarta dengan tujuan untuk mengetahui harmonisa tegangan dan arus pada sisi beban dan mereduksi nilai THD menggunakan filter pasif single tuned LC. Berdasarkan pengukuran tegangan dan arus per orde dilakukan perhitungan, bahwa Total Harmonic Distortion Voltage (THDv) pada sisi beban lampu pijar 15 watt sebesar 5,8% dan Total Harmonic Distortion Current (THDi) sebesar 1,02%. Untuk Total Harmonic Distortion Voltage (THDv) pada sisi beban LED 15 watt sebesar 5,7% dan Total Harmonic Distortion Current (THDi) sebesar 16,42%. Simulasi filter pasif single tuned hanya dilakukan pada THDi LED 15 watt karena arus harmonisa lebih tinggi dari THDi lampu pijar 15 watt. Arus harmonisa yang direduksi yaitu orde ke-3 dengan THDi sebesar 5,7%, dan orde ke-10 dengan THDi sebesar 15,3%. Berdasarkan hasil simulasi filter pasif single tuned LC dengan nilai (L = Induktansi) masing – masing 37,53 Henry dan 3,37 Henry serta nilai (C = Kapasitansi) $1,17 \times 10^{-8}$ Farad. Dari hasil simulasi menggunakan MATLAB Simulink mampu mereduksi tingkat THDi pada LED dari 16,42% menjadi 1,81%.

Kata Kunci: PLTS *Off – Grid*, Harmonisa, Beban Linier dan Beban Non Linier, Filter Pasif Single Tuned LC, MATLAB Simulink

Abstrack

This paper is the result of research on a 290 Wp (Watt-peak) *off-grid* Solar Power Plant (PLTS) at the Faculty of Engineering Building, Indonesian Christian University - Jakarta with the aim of determining voltage and current harmonics on the load side and reducing the THD value using a passive filter. Single tuned LC. Based on the calculation of the voltage and current per order, the Total Harmonic Distortion Voltage (THDv) on the load side of a 15 watt incandescent lamp is 5.8% and the Total Harmonic Distortion Current (THDi) is 1.02%. For Total Harmonic Distortion Voltage (THDv) on the 15 watt LED load side it is 5.7% and Total Harmonic Distortion Current (THDi) is 16.42%. The single tuned passive filter simulation was only carried out on a 15 watt THDi LED because the harmonic current is higher than a 15 watt THDi incandescent lamp. The reduced harmonic current is 3rd order with a THDi of 5.7%, and 10th order with a THDi of 15.3%. Based on the simulation results of a single tuned LC passive filter with a value of (L = Inductance) of 37.53 Henry and 3.37 Henry respectively and a value of (C = Capacitance) $1,17 \times 10^{-8}$ Farad. From the simulation results using MATLAB Simulink it was able to reduce the THDi level on LEDs from 16.42% to 1.81%.

Keywords: *Off-Grid Solar Photovoltaic System, Harmonics, Linear Loads, Non-Linear Loads, Passive Single Tuned LC Filter, MATLAB Simulink.*

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik di Indonesia menggunakan energi fosil masih mendominasi hingga 87,4%^[1] sedangkan cadangan batubara di Indonesia pada tahun 2021 sekitar 39 miliar ton sementara yang di konsumsi 600 juta ton pertahunnya, sehingga diperkirakan akan habis dalam waktu 65 tahun lagi^[2]. Di sisi lain pembangkit listrik energi fosil menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂) yang mengakibatkan efek gas rumah kaca^[3].

Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional Bab 2 Pasal 9, ditetapkan pembatasan penggunaan sumber energi fosil dan menetapkan target penggunaan energi baru terbarukan. Tahun 2025 pemerintah menetapkan bahwa, peran energi baru terbarukan seperti mikrohidro, surya, biomasa, nuklir, dan angin paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31%^[4].

Pembangkit listrik berbasis energi baru terbarukan diharapkan dapat berkontribusi dalam upaya menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 156,6 juta ton karbon dioksida, yang setara dengan 49,8% dari total tindakan mitigasi dalam sektor energi^[5].

Indonesia merupakan daerah tropis yang mempunyai potensi energi matahari (surya) sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5 – 4,8 (*kilowatt hour permeter kuadrat perhari* = kWh/m²/hari)^[6]. Pemanfaatannya sebagai

sumber pembangkit listrik, baru 0,075% dari potensi total sebesar 200.000 Gigawatt^[7].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat di operasikan secara *off – grid, on – grid*, maupun *hybrid* dengan komponen utama inverter yang berfungsi mengubah arus listrik searah menjadi arus listrik bolak – balik yang dapat menyebabkan distorsi tegangan dan arus sehingga mempengaruhi bentuk gelombang sinusoidal dari keluaran tegangan maupun arus^[8].

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah di lakukan oleh Fitrianto, S., Pratomo, L. H., dan Wibisono, A pada tahun 2021 tentang pengukuran *Total Harmonic Distortion* (THD) pada pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* dengan beban lampu *Light Emitting Diodes* (LED), nilai *Total Harmonic Distortion Voltage* (THD_v) sebesar 78,91% serta THDi sebesar 61,91%^[9].

Pada tahun 2021 di lakukan penelitian oleh Susanto, F., Silalahi, E. M., Stepanus, S., Widodo, B., dan Purba, R tentang perancangan filter pasif *LC* (*L = induktansi dan C = kapasitansi*) *single tuned* untuk Lampu Hemat Energi (LHE) dan LED, dapat menurunkan *Total Harmonic Distortion Current* (THDi) dari 84,55% menjadi 37,77% akan tetapi tidak memenuhi standar IEEE^[10].

Berdasarkan hasil penelitian diatas, ^[9,10] bahwa PLTS *off – grid* dengan beban LED menghasilkan harmonisa. Oleh karena itu, dilakukan penelitian lanjutan

pengukuran THD pada PLTS *off – grid* 290 Wp dengan kombinasi beban linier dan non linier di Gedung Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia – Jakarta serta merancang filter pasif *single tuned* LC menggunakan software MATLAB Simulink untuk mereduksi nilai THD.

Tujuan penelitian ini:

1. Untuk mengetahui nilai THDi dan THDv dari PLTS *off – grid* 290 Wp ketika dibebani dengan lampu pijar 15 Watt.
2. Untuk mengetahui nilai THDi dan THDv dari PLTS *off – grid* 290 Wp ketika dibebani dengan LED 15 Watt.
3. Merancang filter pasif *single tuned* LC menggunakan software MATLAB Simulink untuk mereduksi nilai THDi dan THDv.

2. KERANGKA TEORI

2.1 Energi Matahari Menjadi Energi Listrik

Matahari terdiri dari campuran gas dengan dominasi hidrogen. Saat matahari mengubah hidrogen menjadi helium dalam reaksi fusi termonuklir yang besar, massa diubah menjadi energi sesuai dengan rumus terkenal Einstein yaitu $E = mc^2$. Dalam hal ini, E adalah energi yang dihasilkan (Joule), m adalah massa dari hidrogen (*kilogram = kg*) dan c adalah kecepatan cahaya (*meter per sekon = m/s*). Akibat dari reaksi ini, permukaan matahari dipertahankan pada suhu sekitar 5800 derajat Kelvin. Energi ini dipancarkan dari matahari secara merata ke segala arah, sesuai dengan rumus radiasi *blackbody Planck* sebagaimana persamaan (1)^[11].

$$W_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (1)$$

Keterangan:

$h = 6,63 \times 10^{-34}$ watt sec² (konstanta Planck)

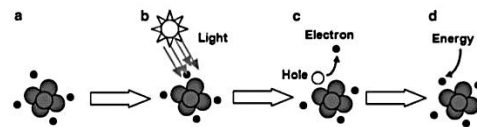
$k = 1,38 \times 10^{-23}$ joule/K (konstanta Boltzmann)

λ = panjang gelombang (m)

c = kecepatan cahaya (m/s)

T = suhu pada benda hitam (K)

Gambar 2.1 menunjukkan interaksi antara foton dengan bahan semikonduktor dalam sel *photovoltaic* dan menjelaskan proses sel *photovoltaic* menghasilkan listrik dari sinar matahari^[12].



Gambar 2.1 Interaksi Foton dengan Atom Bahan Semikonduktor^[12]

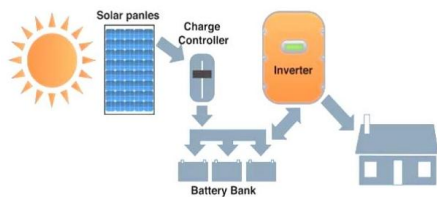
Gambar 2.1(a) memperlihatkan sebuah atom terdiri dari proton dan neutron serta elektron yang bergerak mengelilingi inti. Gambar 2.1(b) ketika sinar matahari mengenai atom tersebut, foton berinteraksi dengan atom bahan semikonduktor. Gambar 2.1(c) foton membebaskan elektron dari ikatan atomnya kemudian meninggalkan lubang (*hole*) di posisi awal elektron. Gambar 2.1(d) pada bagian ini, lubang (*hole*) menyerap energi dan menghasilkan energi listrik.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Jenis pembangkit listrik tenaga surya berdasarkan sistemnya adalah^[13,14,15]:

1) Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid*

Pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* merupakan pembangkit yang tidak terhubung dengan jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN). Pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* menggunakan baterai untuk menyimpan energi kemudian dialirkan ke beban yang dipasok oleh arus listrik bolak-balik (*Alternating Current* = AC) melalui inverter sebagaimana diperlihatkan pada gambar seperti gambar 2.2^[13,14].

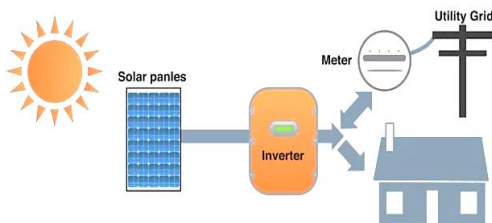


Gambar 2.2 PLTS *Off-Grid*

(Sumber: <https://www.kartanagari.co.id/plts-ongridoffgrid-dan-hybrid/>)

2) Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid*

Pembangkit listrik tenaga surya *on-grid* merupakan pembangkit yang dapat beroperasi tanpa baterai karena daya keluarannya disalurkan ke jaringan distribusi yang disuplai oleh listrik negara^[14] seperti terlihat pada gambar 2.3.

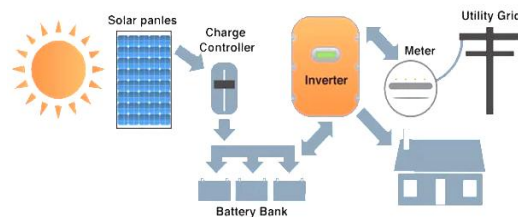


Gambar 2.3 PLTS *On-Grid*

(Sumber: <https://www.kartanagari.co.id/plts-ongridoffgrid-dan-hybrid/>)

3) Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Hybrid*

Sistem *hybrid* merupakan gabungan dari pembangkit tenaga surya dengan pembangkit lain misalnya kombinasi dengan PLN, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Sistem *hybrid* dapat menggunakan baterai untuk menyimpan energi kemudian dialirkan ke beban AC melalui inverter seperti pada gambar 2.4^[15].



Gambar 2.4 PLTS *Hybrid*

(Sumber: <https://www.kartanagari.co.id/plts-ongridoffgrid-dan-hybrid/>)

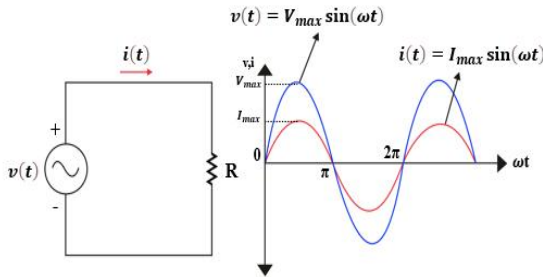
2.3 Beban Listrik

2.3.1 Beban Linier

Beban linier adalah jenis beban dimana sinyal tegangan dan arusnya linier yang mengakibatkan bentuk gelombang arus yang mengalir melalui beban sama dengan bentuk gelombang tegangan. Konsep ini lebih dikenal sebagai hukum Ohm. Hukum Ohm menjelaskan bahwa arus yang mengalir melalui suatu resistansi sebanding dengan tegangan pada resistansi tersebut. Contoh beban linier seperti lampu pijar, resistansi pemanas, motor induksi^[16].

Gambar 2.5 memperlihatkan rangkaian beban resistor dengan resistansi

R (Ohm), yang terhubung ke sumber $v(t) = V_{\max} \sin \omega t$, sehingga arus yang mengalir $i(t) = I_{\max} \sin \omega t$ juga bentuk gelombang sinusoidal.



Gambar 2.5 Rangkaian Beban Linier dan Gelombang Tegangan dan Arus

Keterangan:

$v(t)$ = tegangan sumber, volt

$i(t)$ = arus yang mengalir pada beban R, ampere

V_{\max} = nilai maksimum dari tegangan, volt

I_{\max} = nilai maksimum dari arus, ampere

$\sin \omega t$ = fungsi sinus dari sudut ωt

ω = $2\pi f$ (rad/s)

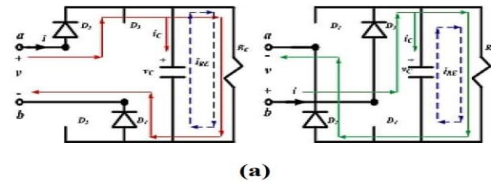
f = frekuensi, Hz

t = waktu, detik

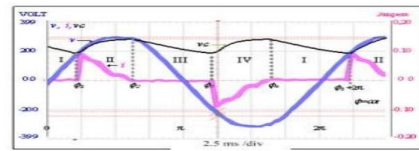
2.3.2 Beban Non Linier

Beban non linier adalah beban listrik yang menyebabkan hubungan arus dan tegangan tidak linier sehingga bentuk gelombang arus yang mengalir melalui beban, tidak sama dengan bentuk gelombang tegangan yang melintasi beban tersebut. Contoh beban non linier seperti, konverter daya, pengontrol motor (*Direct Current = DC*) *Uninterruptible Power Supply* (UPS), pengisi daya baterai, transformator, tungku busur, lampu fluoresen, pengendalian elektronik, dan peralatan yang dikendalikan oleh thyristor

seperti penyearah (rectifiers), inverter, kompensator statis daya reaktif, voltamperereaktif (VAR), *cycloconverter*, transmisi *High Voltage Direct Current* (HVDC), lampu LED, lampu neon^[16].



(a)



(b)

Gambar 2.6 Rangkaian Beban Non Linier dan Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus^[17]

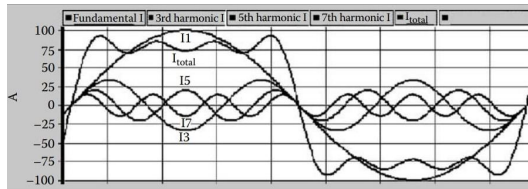
Gambar 2.6 (a) memperlihatkan suatu rangkaian yang terdiri dari empat dioda (D_1, D_2, D_3, D_4) dengan tegangan sumber v , dihubungkan dengan beban non linier yaitu, lampu *Compact Fluorescent Lamp* (CFL), sehingga arus i mengalir melalui beban dan tegangan keluaran pada kapasitor yaitu V_c .

Gambar 2.6 (b) memperlihatkan gelombang keluaran dari rangkaian 2.6 (a). Terlihat bahwa, bentuk gelombang tegangan sinusoidal (garis warna biru) dan bentuk gelombang arus non sinusoidal (garis warna merah muda).

2.4 Harmonisa

Harmonisa adalah komponen dari gelombang periodik yang terdistorsi yang frekuensinya merupakan bilangan bulat dari frekuensi dasar, dan komponen harmonisa ini muncul ketika sebuah sinyal mencapai kondisi yang konstan dan terjadi dalam keadaan stabil^[18].

Harmonisa pada umumnya disebabkan oleh perangkat non linier. Dampak harmonisa pada sistem tenaga listrik dapat mengakibatkan peningkatan kerugian, pemanasan yang menyebabkan pemendekan umur peralatan, serta gangguan pada sirkuit perlindungan, pengendalian dan komunikasi, serta beban pelanggan^[16].



Gambar 2.7 Bentuk Gelombang Arus Sinusoidal Terdistorsi oleh Harmonisa^[19]

Gambar 2.7 menunjukkan gelombang-gelombang arus dengan frekuensi kelipatan bulat ganjil yaitu kelipatan tiga, lima, dan tujuh (I_3 , I_5 , I_7) terhadap gelombang frekuensi fundamental (I_1) yang apabila gelombang-gelombang frekuensi kelipatan bulat ganjil dijumlahkan terhadap gelombang frekuensi fundamental, akan menghasilkan gelombang arus yang mengalami distorsi (I_{total})^[19].

2.4.1 Total Harmonic Distortion ^[19]

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan rasio dari akar kuadrat rata – rata frekuensi dari suatu sinyal yang bukan komponen fundamental.

Distorsi harmonisa total yang menggunakan parameter dalam *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (2) untuk tegangan dan persamaan (3) untuk arus.

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (2)$$

Keterangan:

V_h = nilai tegangan harmonisa pada harmonisa ke-h

V_1 = nilai fundamental tegangan

h = orde harmonisa (2,3,4,5...)

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (3)$$

Keterangan:

I_h = nilai arus harmonisa pada harmonisa ke-h

I_1 = nilai fundamental arus

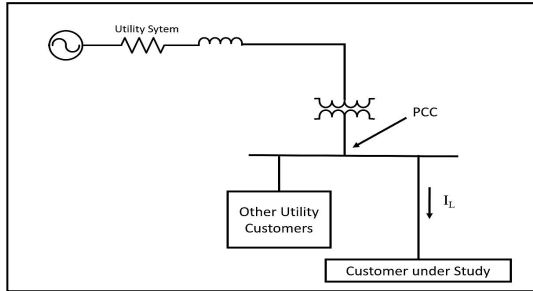
h = orde harmonisa (2,3,4,5...)

2.4.2 Standar Harmonisa^[18]

Menurut standar IEEE 519-2014 ada dua parameter yang digunakan untuk evaluasi distorsi harmonisa yaitu batas THD_V dan THD_I . Batas standar untuk harmonisa tegangan ditentukan berdasarkan sistem yang digunakan pada gambar 2.6. Untuk menentukan batas maksimum harmonisa arus, terlebih dahulu mengetahui rasio I_{sc}/I_L

2.5.1 Langkah-langkah menentukan rasio I_{sc}/I_L

Gambar 2.8 menunjukkan PCC (*Point of Common Coupling*) yang merupakan sambungan antara utilitas dan pelanggan untuk membatasi terjadinya harmonisa dan merekomendasikan tindakan pencegahan tingginya tingkat harmonisa.



Gambar 2.8 Titik PCC setelah sisi sekunder transformator distribusi dimana terdapat beberapa beban yang disuplai^[18]

Prosedur untuk menentukan rasio hubung-pendek (*short-circuit ratio*) I_{sc}/I_L sebagai berikut:

1. Menentukan arus hubung-pendek tiga fasa, I_{sc} pada titik PCC. Untuk menentukan arus hubung-pendek (I_{sc}), digunakan persamaan (4)

$$I_{sc} = \frac{1000 \times \text{MVA}}{\sqrt{3} \text{ kV}} \quad (\text{A}) \quad (4)$$

Keterangan:

I_{sc} : arus hubung-pendek (A)

MVA: kapasitas hubung-pendek tiga fasa pada *main panel*

kV : tegangan *line-to-line* pada PCC

2. Tentukan kebutuhan daya beban rata-rata P_D (kW) dalam 12 bulan terakhir, dimana datanya dapat diperoleh dari data tagihan biaya listrik.
3. Setelah diketahui kebutuhan daya beban rata-rata P_D (kW), maka dapat dihitung arus beban rata-rata I_L (A) menggunakan persamaan (4):

$$I_L = \frac{\text{kW}}{\text{PF} \times \sqrt{3} \times \text{kV}} \quad (\text{A}) \quad (5)$$

Keterangan:

I_L = arus beban rata-rata

PF = faktor daya beban

kW = total daya beban rata-rata

kV = tegangan *line-to-line* pada PCC

4. Selanjutnya, diperoleh rasio hubung-pendek I_{sc}/I_L menggunakan persamaan (5)

$$\text{Rasio hubung-pendek} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (6)$$

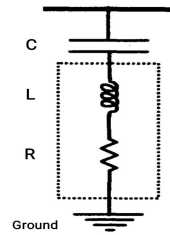
Rasio hubung-pendek I_{sc}/I_L pada persamaan (6), digunakan untuk menentukan batas arus harmonisa pada standar IEEE 519-2014.

2.5 Filter Pasif

Harmonisa merupakan gangguan yang dapat menyebabkan masalah dalam sistem kelistrikan. Harmonisa dapat dikurangi melalui penggunaan filter pasif terdiri dari kombinasi hubungan seri antara kapasitor dengan induktor yang diatur sedemikian rupa, sehingga filter pasif mengalami resonansi pada frekuensi harmonisa tertentu. Filter ini dapat memberikan perangkat dengan impedansi rendah untuk harmonisa yang sesuai dengan frekuensinya. Berdasarkan teori, filter ini memiliki impedansi sangat rendah pada frekuensi tertentu, sehingga dapat melewati harmonisa yang tidak diinginkan ke *ground*^[16].

Gambar 2.9 merupakan salah satu jenis filter pasif *series-tuned*, terdiri dari kombinasi seri kapasitor dengan kapasitansi C (Farad), induktor dengan induktansi L (Henry), dan resistor dengan resistansi R (Ohm) yang dapat diasumsikan sebagai resistansi dari induktor. Dalam keadaan resonansi pada frekuensi tertentu, reaktansi dari kapasitor sama dengan reaktansi dari induktor,

sehingga impedansi dari filter ini sangat kecil yang tergantung kepada nilai dari R.



Gambar 2.9 Filter Pasif *Series-Tuned* [16]
2.6 AC Current Source

AC Current Source merupakan sumber arus bolak-balik yang mempresentasikan sumber arus harmonisa pada beban yang digunakan.

Gambar 2.10 memperlihatkan sebagaimana bentuk *AC current source* yang digunakan pada simulasi menggunakan MATLAB Simulink.



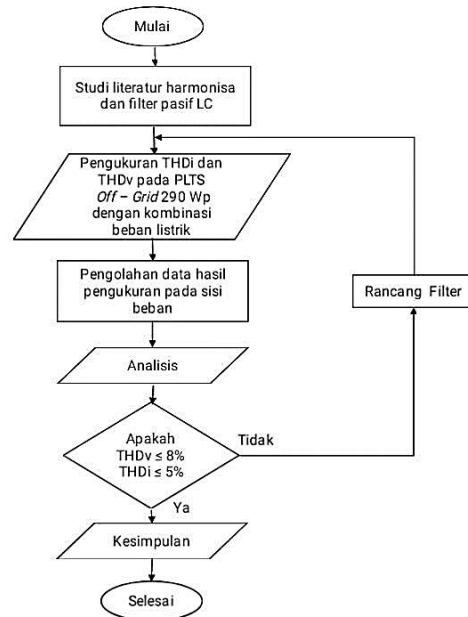
Gambar 2.10 *AC Current Source*

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang melibatkan langkah-langkah seperti memilih topik penelitian, merumuskan masalah, mengumpulkan data numerik, dan menganalisis data dengan menggunakan prosedur statistika^[20].

3.1 Diagram Alir Penelitian

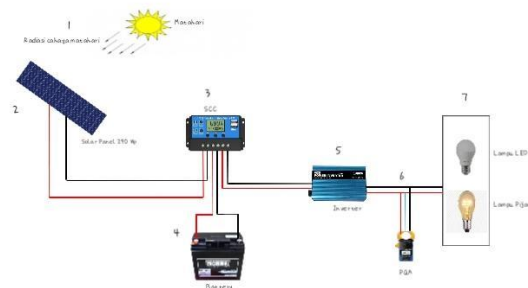
Tahap – tahap penelitian yang dilakukan, ditunjukkan dalam bentuk diagram alir sebagaimana diperlihatkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Pengambilan Data

Gambar 3.2 merupakan rangkaian pengukuran nilai THDv dan THDi pada PLTS *off – grid* 290 Wp dengan beban lampu LED dan lampu pijar, menggunakan alat ukur PQA Kyoritsu 6315.



Gambar 3.2 Rangkaian Pengukuran THD pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid* 290 Wp.

Keterangan:

1. Radiasi Sinar Matahari
2. Panel Surya
3. Solar Charge Controller
4. Aki/Baterai
5. Inverter
6. Alat Ukur Harmonisa PQA Kyoritsu Kew
7. Beban Listrik (Lampu Pijar dan LED 15 Watt)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran tegangan dan arus serta perhitungan THDv dari orde ke-1 sampai orde ke-10 dari PLTS tanpa beban, diperlihatkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus serta Perhitungan THDv Tanpa Beban

Orde	Pengukuran Tegangan (V)	THDv Orde Ke - n (%)	Pengukuran Arus (A)
1	219±0,00 ⁰	100	0,00±0,005 ⁰
2	7,49±4,70 ⁰	3,4	0,00±0,49 ⁰
3	15,2±4,33 ⁰	6,9	0,00±1,54 ⁰
4	3,45±13,9 ⁰	1,5	0,00±0,18 ⁰
5	3,22±20,1 ⁰	1,4	0,00±0,47 ⁰
6	2,5±12,5 ⁰	1,1	0,00±1,07 ⁰
7	2,1±27,2 ⁰	0,9	0,00±1,82 ⁰
8	1,49±31,9 ⁰	0,6	0,00±1,36 ⁰
9	1,2±36,7 ⁰	0,5	0,00±1,65 ⁰
10	3,77±10,2 ⁰	1,7	0,00±1,02 ⁰
		8,3	

Nilai THDv dari orde ke-1 sampai orde ke-10 berdasarkan data pada tabel 4.1, dihitung menggunakan persamaan (2) dengan hasil sebesar 8,3%. Nilai THDv yang paling tinggi ditemukan pada orde ke-3 yaitu sebesar 6,9%.

Hasil pengukuran tegangan dan arus serta perhitungan THDv dan THDi dari orde ke-1 sampai orde ke-10 ketika PLTS dihubungkan dengan lampu pijar 15 watt, diperlihatkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Pengukuran Hasil Tegangan dan Arus serta Perhitungan THDv dan THDi dengan Beban Lampu Pijar 15 Watt

Orde	Pengukuran Tegangan (V)	THDv Orde Ke - n (%)	Pengukuran Arus (A)	THDi Orde Ke - n (%)
1	201±0,00 ⁰	100	0,08±0,17 ⁰	100
2	7,10±4,73 ⁰	3,5	0,001±1,00 ⁰	1,3
3	5,75±4,38 ⁰	2,8	0,0008±1,47 ⁰	1,0
4	2,28±1,58 ⁰	1,1	0,00±1,34 ⁰	0,0
5	2,39±1,75 ⁰	1,1	0,00±1,45 ⁰	0,0
6	4,20±9,78 ⁰	2,0	0,00014±0,9 ⁰	0,2
7	3,38±8,77 ⁰	1,6	0,00006±2,39 ⁰	0,1
8	1,39±2,36 ⁰	0,7	0,00±2,89 ⁰	0,0
9	0,95±2,51 ⁰	0,5	0,00±3,00 ⁰	0,0
10	3,77±10,2 ⁰	1,8	0,00009±1,79 ⁰	0,1
		5,8		1,02

Nilai THDv dari orde ke-1 sampai orde ke-10 berdasarkan data pada tabel 4.2, dihitung menggunakan persamaan (2) dengan hasil sebesar 5,8%. Nilai THDi dihitung berdasarkan persamaan (3) dengan hasil sebesar 1,02%. Data pada tabel 4.2 memperlihatkan bahwa, harmonisa tegangan dan arus dominan pada orde ke-2, yaitu THDv sebesar 3,5% dan THDi sebesar 1,3%.

Hasil pengukuran tegangan dan arus serta perhitungan THDv dan THDi dari orde ke-1 sampai orde ke-10, ketika PLTS dihubungkan dengan lampu LED 15 watt diperlihatkan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus serta Perhitungan THDv dan THDi dengan Beban Lampu LED 15 Watt

Orde	Pengukuran Tegangan (V)	THDv Orde Ke - n (%)	Pengukuran Arus (A)	THDi Orde Ke - n (%)
1	202±0,00 ^v	100	0,052±16,9 ^u	100
2	7,09±4,35 ^v	3,5	0,0006±2,54 ^u	1,2
3	4,79±1,82 ^v	2,4	0,003±18,6 ^u	5,7
4	2,33±7,41 ^v	1,1	0,00001±1,27 ^u	0,01
5	2,44±18,1 ^v	1,2	0,00±1,41 ^u	0,0
6	4,16±10,6 ^v	2,1	0,0007±2,35 ^u	1,3
7	3,35±10,2 ^v	1,7	0,00009±2,24 ^u	0,17
8	1,38±24,8 ^v	0,7	0,00±2,18 ^u	0,0
9	0,98±22,1 ^v	0,4	0,00001±3,13 ^u	0,01
10	4,37±12,4 ^v	2,2	0,008±1,95 ^u	15,3
		5,7		16,42

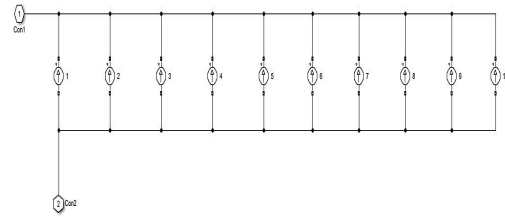
Nilai THDv dari orde ke-1 sampai orde ke-10 berdasarkan data pada tabel 4.3, dihitung menggunakan persamaan (2) diperoleh hasil sebesar 5,7%. Nilai THDi dihitung berdasarkan persamaan (3) dengan hasil sebesar 16,42%. Tabel 4.3 memperlihatkan bahwa, nilai THDv yang sebesar 5,7% dan nilai THDi paling tinggi pada orde ke-10 yaitu sebesar 15,3%.

4.2 Pemodelan Filter Pasif Single Tuned LC Menggunakan MATLAB Simulink

Simulink adalah fasilitas yang dimiliki software MATLAB. Simulink adalah blok diagram yang berisikan model dari sistem yang dapat digunakan sebagai sarana pemodelan dan simulasi serta analisis dari sistem dinamik dengan menggunakan antarmuka grafis atau *Graphical User Interface (GUI)*.

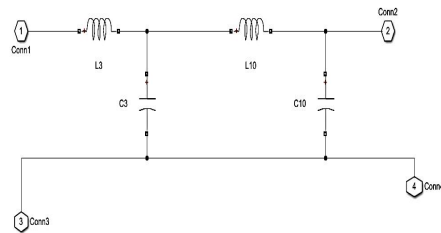
Gambar 4.1 memperlihatkan block pemodelan sumber harmonisa arus dari orde ke-1 sampai ke-10 dengan

menggunakan *connection port* dan *AC current source* pada MATLAB Simulink



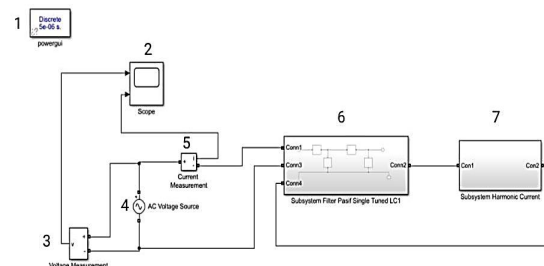
Gambar 4.1 Pemodelan Sumber Harmonisa Arus Menggunakan MATLAB Simulink

Gambar 4.2 memperlihatkan rangkaian filter pasif *single tuned LC* orde ke-3 dan ke-10 dengan menggunakan *connection port* dan *RLC Parallel Branch* pada MATLAB Simulink



Gambar 4.2 Pemodelan Rangkaian Filter Pasif *Single Tuned LC* Menggunakan MATLAB Simulink

Gambar 4.3 memperlihatkan rangkaian simulasi filter pasif *single tuned* yang sudah dihubungkan dengan sumber arus harmonisa menggunakan MATLAB Simulink



Gambar 4.3 Rangkaian Simulasi Filter Pasif Single Tuned LC yang dihubungkan dengan Sumber Arus Harmonisa

Keterangan

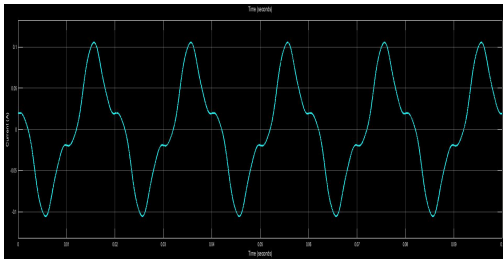
1. Powergui (untuk mengaktifkan simulasi)
2. Scope
3. Voltage Measurement
4. AC Voltage Source
5. Current Measurement
6. Subsystem Filter Pasif Single Tuned LC
7. Subsystem Harmonic Current

Tabel memperlihatkan nilai kapasitor dan induktor yang menjadi parameter komponen untuk filter pasif single tuned LC pada MATLAB Simulink.

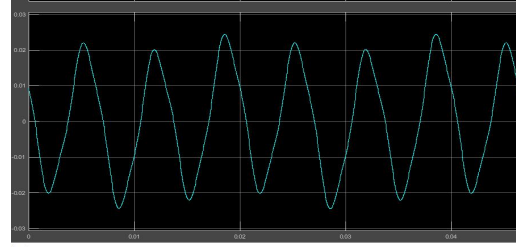
Tabel 4.4 Nilai Induktor dan Kapasitor pada Filter Pasif *Single Tuned LC*

Orde (n)	L (Henry)	C (Farad)
3	37,53	$1,17 \times 10^{-8}$
10	3,37	$1,17 \times 10^{-8}$

Gambar 4.4 memperlihatkan bentuk gelombang pada simulasi MATLAB Simulink sebelum dan setelah di pasang filter pasif *single tuned LC*.



(a)

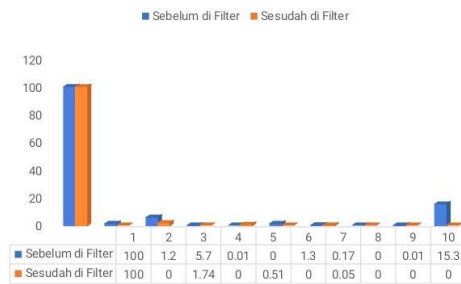


(b)

Gambar 4.4 (a) Bentuk Gelombang Arus Sebelum (b) Setelah Dipasang Filter Pasif *Single Tuned LC* pada Simulasi MATLAB Simulink

4.3 Analisis Hasil Pengolahan Data

Analisis terhadap hasil pengolahan data, dilakukan untuk membandingkan hasil sebelum dan setelah dipasang filter pasif *single tuned LC* sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.5, dalam bentuk histogram dari THDi sebelum dan sesudah di pasang filter pasif *single tuned LC*.



(b)

Gambar 4.5 Histogram THDi Sebelum (Biru) dan Sesudah Dipasang (Orange) Filter Pasif *Single Tuned LC*

Gambar 4.5 memperlihatkan bahwa, filter pasif *single tuned LC* yang disimulasikan pada MATLAB Simulink dapat mereduksi THDi LED yang dihubungkan pada PLTS *off-grid*. Nilai THDi sebelum direduksi yaitu 16,42% dan setelah direduksi nilai THDi turun menjadi 1,81%. Selisih dari nilai THDi

ketika sebelum dan sesudah simulasi pada MATLAB Simulink (16,42% – 1,81% = 14,61%).

5. KESIMPULAN

1. Nilai THD_v dan THD_i dengan beban lampu pijar 15 Watt yaitu 5,8% dan 1,02%.
2. Nilai THD_v dan THD_i dengan beban LED 15 Watt yaitu 5,7% dan 16,4%.
3. Filter pasif *single tuned* LC dengan nilai L₃ dan L₁₀ masing – masing 37,53 Henry dan 3,37 Henry serta nilai C nya sama yaitu $1,17 \times 10^{-8}$ Farad, mampu mereduksi tingkat THD_i arus LED 15 Watt dari 16,42% menjadi 1,81%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM. (2022). Cadangan Batubara Masih 39 Miliar Ton, Konsumsi Energi Fosil Masih Dominan EBT Masih Jauh Dari Target Title. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [2] ESDM. (2021). Kapan Batubara RI Habis Titel. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [3] Pratama, R. (2019). Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. Buletin Utama Teknik, 14(2), 120-126.
- [4] Indonesia, P. R. (2014). Peraturan Pemerintah tentang Kebijakan Energi Nasional (hal. 1–36)
- [5] ESDM. (2020). Turunkan Emisi Ton CO₂ Tahun 2030 Indonesia Perlu Investasi Rp 3.500 Triliun.
- [6] Priatam, P. P. T. D., Zambak, M. F., Suwarno, S., & Harahap, P. (2021). Analisa Radiasi Sinar Matahari Terhadap Panel Surya 50 WP. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 4(1), 48-54.
- [7] ESDM. (2021). Matahari Untuk PLTS Di Indonesia.
- [8] Partaonan, H. (2018). Harmonisa Pada Rangkaian Inverter Satu Fasa. *Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- [9] Fitrianto, S., Pratomo, L. H., & Wibisono, A. (2021). Analisis Harmonisa Pada Off – Grid Photovoltaic Solar Power System Terhadap Beban Non – Linier. In *Prosiding Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan (Ritektra)* (pp. C4-C4).
- [10] Susanto, F., Silalahi, E. M., Stepanus, S., Widodo, B., & Purba, R. (2021, October). Simulation of passive filter design to reduce Total Harmonic Distortion (THD) in Energy-Saving Lamps (LHE) and Light Emitting Diodes (LED). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 878, No. 1, p. 012059). IOP Publishing.
- [11] R. A. Messenger and J. Ventre. (1999). *Photovoltaic Systems Engineering*, 2nd ed. Boca Raton London New York Washington, D.C.

- [12] Ghosh, T. K., & Prelas, M. A. (2011). *Energy Resources and Systems [recurso Electrónico]: Volume 2: Renewable Resources*. Springer Netherlands.
- [13] Harefa, B., Widodo, B., & Purba, R. (2020). Perhitungan Energi Solar Photovoltaic Di Wilayah Kabupaten Nias Dan Kabupaten Mentawai Dengan Menggunakan Metode Probabilistik. *Lektrokom: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 3(1), 9-9.
- [14] Brilliant, B., Purba, R., & Soebagio, A. (2019). Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terhubung dengan Jaringan Listrik PLN pada Kantor di Bintaro-Jakarta Selatan. *Lektrokom: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 2(1), 6-6.
- [15] Ramadhani, B. (2018). Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts. *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (Endev) Indonesia Jakarta*, 23-28
- [16] Wakileh, G. J. (2001). Power System Harmonic Studies—A Simple Approach. *Power Systems Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design*, 275-375.
- [17] Siahaan, F. J., Silalahi, E. M., Widodo, B., & Purba, R. (2020). Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Light-Emitting Diode (LED). *Lektrokom: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 3(1), 8-8.
- [18] Dugan, R. C. (2000). *Electrical power system quality*. The McGraw Hill Companies, press
- [19] Francisco, C. D. L. R. (2006). *Harmonics and power systems*. CRC
- [20] Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research Design: Qualitative, Quantitative, And Mixed Methods Approaches*. Sage publications