

ANALISIS HARMONISA PADA PENYULANG GELITING PT. PLN KAB. SIKKA AKIBAT INTEGRASI PLTS WAIRBLELER KAPASITAS 1 MWP

Irenetta Boru Silalahi¹, Abraham Lomi², Widodo Pudji Muljanto³

Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang

¹irenetta39@gmail.com, ²abraham@lecturer.itn.ac.id, ³widodo_pm@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ke dalam sistem distribusi listrik dapat memberikan manfaat, seperti peningkatan efisiensi energi dan pengurangan beban pada gardu induk. Namun, integrasi PLTS juga dapat menimbulkan permasalahan kualitas daya, salah satunya adalah harmonisa yang dihasilkan oleh inverter PLTS. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak integrasi PLTS Wairbleler berkapasitas 1 MWp terhadap harmonisa pada penyulang Geliting dengan menggunakan software ETAP 19.0.1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebelum terintegrasi dengan PLTS nilai THDv-nya sebesar 1.41 % dan setelah terintegrasi dengan PLTS nilai THDv-nya sebesar 11.06 %. Untuk melakukan perbaikan nilai distorsi yang melebihi batas standar IEEE 519-1992 dilakukan pemasangan filter harmonisa. Setelah dilakukan pemasangan filter single tuned, persentase nilai THD mengalami penurunan yang awalnya memiliki nilai THD 11.06 % menjadi 1.84 %.

Kata Kunci: PLTS, distorsi harmonisa, filter harmonisa, ETAP 19.0.1

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam menghadapi tantangan keberlanjutan energi yang semakin mendesak, penggunaan sumber energi terbarukan menjadi solusi utama untuk mengurangi ketergantungan pada energi konvensional yang terbatas dan berdampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu bentuk energi terbarukan yang semakin diminati adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), karena ketersediaannya yang melimpah serta sifatnya yang ramah lingkungan. Namun, penerapan PLTS dalam jaringan distribusi listrik menghadapi berbagai kendala, salah satunya adalah gangguan harmonisa tegangan akibat proses integrasi PLTS.

Dalam pemanfaatannya, PLTS atau photovoltaic (PV) menghasilkan tegangan searah (DC), sehingga memerlukan komponen tambahan, yaitu inverter. Inverter berfungsi sebagai penghubung antara PV dan jaringan listrik atau beban, dengan tugas utama mengubah tegangan DC menjadi AC,

agar energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan oleh peralatan listrik atau disalurkan ke jaringan distribusi [1]. Inverter dikategorikan sebagai peralatan elektronika daya dan termasuk dalam jenis beban non-linear. Penggunaan beban non-linear ini dapat menyebabkan distorsi gelombang tegangan dan arus, yang berpotensi mempengaruhi kinerja sistem tenaga listrik secara keseluruhan [2]. Beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas sistem tenaga listrik meliputi profil tegangan, faktor daya, dan tingkat kandungan harmonisa dalam sistem [3].

Harmonisa merupakan gangguan berupa distorsi periodik pada gelombang tegangan, arus, atau daya yang terdiri dari gelombang sinusoidal dengan frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamental. Akibatnya, bentuk gelombang yang dihasilkan tidak lagi murni sinusoidal. Salah satu metode untuk mengukur tingkat harmonisa dalam sistem tenaga listrik adalah dengan menghitung Total Harmonic Distortion Voltage (THDv). Dalam analisis THDv, standar IEEE 519-1992 digunakan sebagai acuan untuk menentukan batas maksimal kandungan harmonisa yang diizinkan. Jika nilai THDv melebihi batas yang telah ditentukan, maka peralatan listrik berisiko mengalami kerusakan akibat gelombang harmonisa. Selain itu, harmonisa juga dapat menyebabkan penurunan faktor daya, peningkatan jatuh tegangan, serta lonjakan arus pada jaringan listrik, yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan rugi-rugi daya dalam sistem distribusi [4].

Penelitian ini akan membandingkan kandungan harmonisa tegangan sebelum dan sesudah integrasi PLTS Wairbleler pada penyulang Geliting menggunakan perangkat lunak ETAP. Dengan memahami secara mendalam dampak harmonisa tegangan yang mungkin timbul, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengoptimalkan integrasi PLTS Wairbleler ke dalam jaringan distribusi listrik, sehingga menciptakan sistem energi yang lebih berkelanjutan dan stabil.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana nilai harmonisa tegangan pada penyulang Geliting pada saat kondisi *existing* ?
2. Bagaimana nilai harmonisa tegangan pada penyulang Geliting akibat terintegrasi dengan PLTS Wairbleler ?
3. Apakah persentase THD tegangan pada penyulang Geliting sudah memenuhi standar IEEE 519-1992 ?
4. Bagaimana cara mengurangi nilai persentase harmonisa pada penyulang Geliting ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai harmonisa tegangan pada penyulang Geliting pada saat kondisi *existing*
2. Mengetahui nilai harmonisa tegangan pada penyulang Geliting akibat terintegrasi dengan PLTS Wairbleler
3. Mengetahui nilai THD pada penyulang Geliting apakah sudah memenuhi standar IEEE 519-1992
4. Mengidentifikasi solusi untuk mengurangi nilai persentase harmonisa pada penyulang Geliting

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Harmonisa

Dalam suatu sistem tenaga listrik, terdapat tiga komponen utama, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi, yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik kepada konsumen. Sistem ini menggunakan arus bolak-balik (alternating current/AC) dengan frekuensi fundamental 50 Hz atau 60 Hz. Arus bolak-balik memiliki karakteristik di mana tegangan dan arusnya berubah polaritas seiring waktu berdasarkan frekuensi tertentu. Secara ideal, bentuk gelombang tegangan maupun arus dalam sistem kelistrikan AC adalah sinusoidal.

Namun, dalam proses transmisi dan distribusi, gelombang sinusoidal tersebut dapat mengalami perubahan akibat distorsi, yang terjadi ketika terdapat gelombang dengan frekuensi berbeda yang masuk ke dalam sistem dan bercampur dengan frekuensi fundamental. Distorsi ini menyebabkan perubahan bentuk gelombang dan dikenal sebagai harmonisa.

Harmonisa adalah gangguan pada sistem tenaga listrik yang muncul akibat superposisi antara gelombang dengan frekuensi fundamental dan gelombang dengan frekuensi kelipatan fundamentalnya. Keberadaan harmonisa dapat berdampak pada sistem transmisi dan distribusi, menyebabkan berbagai permasalahan dalam jaringan tenaga listrik. Sebagai contoh, jika frekuensi fundamentalnya 50 Hz, maka gelombang harmonik yang muncul dapat memiliki frekuensi 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 250 Hz dan seterusnya.

B. Orde Harmonisa

Orde harmonisa adalah bilangan bulat yang diperoleh dari perbandingan antara frekuensi gelombang sinusoidal baru

dengan frekuensi fundamentalnya. Orde harmonisa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{f_n}{f} \quad (1)$$

dengan :

n = orde harmonisa

f_n = frekuensi harmonisa ke- n (Hz)

f = frekuensi fundamental (Hz)

Secara umum, terdapat dua jenis orde harmonisa, yaitu orde harmonisa ganjil dan orde harmonisa genap. Di antara keduanya, orde harmonisa ganjil memiliki pengaruh lebih besar terhadap amplitudo gelombang, sehingga lebih diperhatikan dibandingkan harmonisa genap[5].

C. Sumber-sumber Harmonisa

Harmonisa dalam sistem tenaga listrik muncul akibat adanya beban yang terhubung ke jaringan distribusi. Beban dalam sistem tenaga listrik dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu beban linier dan beban non-linier, yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Beban Linier

Beban linier merupakan jenis beban yang menghasilkan gelombang keluaran yang tetap linier, di mana arus yang mengalir berbanding lurus dengan impedansi serta perubahan tegangan. Pada beban ini, bentuk gelombang arus mengikuti pola gelombang tegangan yang diberikan. Jika sumber tegangan berbentuk sinusoidal, maka arus yang dihasilkan juga berbentuk sinusoidal[6]. Contoh umum dari beban linier meliputi pemanas resistif, motor sinkron, serta lampu pijar[5].

2. Beban Non-Linier

Beban non-linier adalah jenis beban yang menghasilkan gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan selama setengah siklus, sehingga bentuk gelombang arus dan tegangan keluarannya mengalami distorsi dan berbeda dari bentuk gelombang masukannya[6].

Secara umum, beban non-linier terdiri dari peralatan elektronik yang mengandung komponen semikonduktor. Dalam pengoperasiannya, komponen ini berfungsi sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan[7].

Harmonisa dalam sistem tenaga listrik dihasilkan dari berbagai jenis penggunaan peralatan yang memiliki kondisi saturasi, peralatan elektronika daya, serta beban non-linier lainnya, yang dapat dikategorikan sebagai berikut[7] :

1. Peralatan dengan kondisi saturasi

Peralatan ini umumnya memiliki komponen magnetik, seperti transformator, mesin listrik, tanur busur listrik, peralatan dengan catu daya terkontrol (rectified power supply), serta ballast magnetik.

2. Peralatan elektronika daya

Peralatan ini menggunakan komponen elektronika seperti thyristor, dioda, dan lainnya. Contoh perangkat yang menggunakan komponen elektronika daya antara lain konverter PWM, inverter, pengendali motor listrik, serta ballast elektronik.

3. Peralatan rumah tangga

Beban non-linier di lingkungan rumah tangga dapat ditemukan pada berbagai perangkat seperti lampu hemat

energi, televisi, pendingin udara (AC), komputer, dan peralatan elektronik lainnya.

D. Dampak Harmonisa

Kehadiran harmonisa dalam sistem tenaga listrik dapat berdampak langsung maupun tidak langsung terhadap kualitas serta keandalan sistem. Beban non-linier yang menghasilkan harmonisa akan menginjeksikan arus harmonisa kembali ke sumber tegangan sistem (Rosa, 2006:12). Arus harmonisa ini kemudian berinteraksi dengan berbagai peralatan sistem, terutama kapasitor, transformator, dan motor, yang mengakibatkan peningkatan rugi-rugi panas secara berlebihan. Pada kapasitor, harmonisa dapat mengurangi kapasitas penyimpanan daya reaktif, sehingga proses koreksi faktor daya menjadi terganggu. Selain itu, umur pakai peralatan juga cenderung lebih pendek akibat getaran serta kenaikan suhu operasional yang signifikan akibat keberadaan harmonisa arus.

Jika sistem mengalami resonansi akibat harmonisa, tegangan dalam sistem bisa meningkat. Hal ini dapat menyebabkan kabel dan isolator mengalami tekanan tegangan berlebih, yang berpotensi menyebabkan kegagalan isolasi atau mempercepat penuaan peralatan. Selain itu, harmonisa juga dapat menyebabkan kesalahan pembacaan alat ukur, terutama alat ukur berbasis induksi seperti KWh meter. Alat ukur ini dirancang dan dikalibrasi untuk mendeteksi gelombang sinusoidal, tetapi kehadiran harmonisa dapat menghasilkan tambahan kopel atau torsi elektromagnetik pada cakram alat ukur, sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran yang lebih tinggi dari nilai sebenarnya.

Arus harmonisa juga dapat memicu gangguan interferensi induksi pada sistem telekomunikasi, kesalahan pengukuran pada alat ukur, serta peningkatan panas berlebih pada pemutus daya yang dapat menyebabkan pemutus daya bekerja sendiri secara tidak terduga. Selain itu, harmonisa dapat menyebabkan sistem kendali mengalami kegagalan atau terkunci secara otomatis, serta berbagai permasalahan lainnya. Dampak dari permasalahan harmonisa ini berpotensi menimbulkan kerugian finansial akibat peningkatan biaya pemeliharaan. Setiap komponen dalam sistem distribusi listrik dapat terkena dampak harmonisa dengan berbagai tingkat keparahan yang berbeda. Akibatnya, kinerja peralatan mengalami penurunan yang signifikan dan dalam jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan pada komponen sistem tenaga listrik[7].

E. Indeks Harmonisa

Terdapat beberapa indeks harmonisa, yaitu :

1. Individual Harmonic Distortion (IHD)

Distorsi harmonisa individual (*Individual Harmonic Distortion*) diperoleh dengan membandingkan nilai root mean square (rms) dari arus atau tegangan harmonisa dengan nilai rms pada frekuensi fundamentalnya. Nilai IHD dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: [5]

$$IHD_n = \sqrt{\frac{Y_n^2}{Y_1^2}} \times 100\% \quad (2)$$

dengan :

IHD_n = nilai IHD dari harmonisa ke-n ($n=2,3,4,\dots,n$)

Y_n = nilai rms tegangan atau arus harmonisa ke-n

Y_1 = nilai rms tegangan atau arus pada frekuensi fundamentalnya

2. Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) diperoleh dengan membandingkan nilai *root mean square* (rms) dari total arus atau tegangan pada berbagai frekuensi harmonisa dengan nilai rms arus atau tegangan pada frekuensi fundamentalnya. Perhitungan THD diperlukan untuk menentukan tingkat distorsi harmonisa dalam suatu sistem, sehingga dapat dibandingkan dengan standar yang berlaku. Nilai THD dihitung menggunakan persamaan berikut: [5]

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{n=\infty} M_n^2}{M_1^2}} \quad (3)$$

dengan :

n = orde Harmonisa

M_n = nilai rms tegangan atau arus harmonisa ke-n

M_1 = nilai rms tegangan atau arus pada frekuensi fundamental

3. Total Demand Distortion (TDD)

Total Demand Distortion (TDD) merupakan rasio antara arus distorsi dari seluruh orde harmonisa terhadap arus pada kondisi beban puncak. Perbedaan utama antara THD dan TDD terletak pada penggunaan nilai arus frekuensi fundamental. THD dihitung berdasarkan nilai arus sesaat, sehingga meskipun nilainya tinggi, belum tentu memberikan dampak yang berbahaya bagi sistem. Sementara itu, TDD lebih mencerminkan distorsi arus dalam kondisi beban maksimum. Nilai TDD dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: [5]

$$TDD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{n=\infty} I_n^2}{I_L^2}} \quad (4)$$

dengan :

n = orde Harmonisa

h_n = nilai rms arus harmonisa ke-n

I_L = nilai arus pada frekuensi fundamental saat beban puncak

F. Spektrum Harmonisa

Spektrum harmonisa merupakan representasi grafis dalam bentuk histogram yang menunjukkan amplitudo setiap komponen harmonisa dibandingkan dengan amplitudo fundamentalnya. Pada sumbu vertikal ditampilkan nilai dalam persen (%) sebagai rasio antara amplitudo harmonisa terhadap fundamental, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan orde atau frekuensi harmonisa. Spektrum harmonisa berperan penting dalam perancangan filter pasif, yang hanya dapat mereduksi harmonisa pada orde tertentu. Dengan menganalisis spektrum harmonisa, dapat diidentifikasi orde harmonisa yang dominan sehingga memungkinkan perancangan filter yang lebih efektif [5].

G. Standarisasi Harmonisa

Untuk menangani masalah distorsi harmonisa, terdapat standar acuan utama, yaitu IEEE 519-1992. Standar ini menetapkan batas maksimal distorsi harmonisa arus dan tegangan yang dirinci dalam tabel referensi. IEEE 519-1992 mendasarkan pengukurannya pada Total Harmonic Distortion (THD) yang diambil dari Point of Common Coupling (PCC), yakni titik di mana distorsi harmonisa arus dan tegangan dapat

diukur serta dihitung berdasarkan utilitas pelanggan yang terpasang.

Dalam menganalisis kadar harmonisa, pemahaman tentang PCC menjadi krusial. PCC merupakan titik koneksi antara sistem distribusi pelanggan (beban) dengan sistem distribusi penyedia listrik (utility). Dalam penerapan standar harmonisa arus, definisi yang kurang tepat mengenai PCC sering kali menyebabkan kesalahan dalam analisis.

Terkait distorsi arus, IEEE 519-1992 mendefinisikan batas distorsi berdasarkan rasio antara arus hubung singkat (I_{sc}) pada PCC dengan arus fundamental rata-rata (I_L), yang dihitung berdasarkan kebutuhan maksimum selama 12 bulan. I_{sc} merupakan arus hubung singkat pada PCC, sementara rasio I_{sc}/I_L digunakan untuk menentukan sejauh mana arus saluran mempengaruhi arus maksimum dalam kondisi hubung singkat.

Distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik terjadi akibat gelombang arus dan tegangan yang terbentuk dari frekuensi fundamental serta kelipatannya. Gelombang tambahan ini menumpang pada gelombang utama, menyebabkan bentuk gelombang menjadi terdistorsi.

Untuk menentukan standar harmonisa arus yang sesuai, perlu diketahui nilai rasio I_{sc}/I_L terlebih dahulu. Langkah pertama dalam perhitungan ini adalah menentukan arus beban penuh transformator (I_L) dengan menggunakan persamaan berikut.

$$I_L = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \text{ kV}_{L-L}} \quad (5)$$

Kedua, tentukan besar arus hubung singkat (I_{sc})

$$I_{sc} = \frac{I_L}{\%Z} \quad (6)$$

dengan :

I_L = arus beban maksimum (Ampere)

I_{sc} = arus short circuit pada PCC (Ampere)

Setelah nilai arus hubung singkat (I_{sc}) dan arus beban penuh (I_L) diketahui, perbandingan antara I_{sc} dan I_L dapat dihitung untuk menentukan kategori rentangnya. Jika nilai perbandingan tersebut kurang dari 20, berada antara 21 hingga 50, atau dalam rentang lainnya, maka standar harmonisa yang berlaku akan berbeda sesuai dengan ketentuan dalam IEEE 519-1992. Setiap rentang memiliki batas maksimal distorsi harmonisa arus yang harus dipatuhi untuk menjaga kualitas daya pada sistem tenaga listrik.

Tabel 1. Standar IEEE 519-1992 Batas Maksimum Distorsi Arus Harmonisa

I_{sc}/I_L	Harmonic Orde (Odd Harmonic)					THD (%)
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h$	
	IHD (%)					
< 20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20 – 50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50 – 100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100 – 1000	12	5,5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2,5	1,4	20

Tabel 1 merupakan batas maksimum untuk nilai distorsi harmonisa individu dan harmonisa total pada arus.

Untuk menghitung nilai hubung singkat tiga fasa pada PCC (*Point of Common Coupling*) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$I_{sc} = \frac{1000 \times \text{MVA}}{\sqrt{3} \text{ kV}} \quad (7)$$

dengan :

I_{sc} = arus hubung singkat pada PCC

MVA = hubung singkat tiga fasa

kV = tegangan *line to line*

I_L merupakan arus beban nominal. Terdapat dua cara untuk mengukur I_L , pertama yaitu pada beban yang telah terpasang pada sistem lalu dihitung nilai rata-rata dari arus beban maksimum dari 12 bulan sebelumnya. Sedangkan untuk sistem yang baru, I_L harus diperkirakan berdasarkan profil beban yang akan dipasang. Nilai I_L dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$I_L = \frac{\text{kW}}{\text{PF} \sqrt{3} \text{ kV}} \quad (8)$$

dengan :

kW = permintaan rata-rata daya (masing-masing fasa)

PF = *power factor*

kV = tegangan *line to line* di PCC

Menentukan batasan maksimum distorsi arus harmonisa digunakan persamaan :

$$\frac{I_{sc}}{I_L} \quad (9)$$

dengan :

I_L = arus beban nominal

I_{sc} = arus hubung singkat

Sedangkan untuk standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem seperti pada table berikut :

Tabel 2. Standar IEEE 519-1992 Batas Distorsi Tegangan Harmonisa

Nilai Tegangan pada PCC	Individual Distorsi Harmonisa (%)	Total Distorsi Harmonisa (%)
$V_n \leq 69 \text{ kV}$	3	5
$69 \text{ kV} < V_n \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$V_n > 161 \text{ kV}$	1	1,5

Tabel 2 di atas merupakan batasan khusus untuk nilai distorsi harmonisa individu dan harmonisa total pada tegangan. IEEE 519-1992 membahas standar batas yang diizinkan untuk tegangan dan arus harmonisa. Standar ini juga menekankan pembatasan injeksi harmonisa dari masing-masing pelanggan ke dalam sistem tenaga listrik agar tidak menimbulkan gangguan akibat interaksi antara frekuensi sistem dan frekuensi harmonisa yang dihasilkan oleh pelanggan.

Batas waktu distorsi arus dan tegangan pada sistem tenaga listrik saat terjadi gangguan ditetapkan maksimal 1 jam. Untuk peralatan yang hanya memerlukan waktu pengoperasian lebih singkat, seperti saat start-up, batas ini dapat dikurangi hingga 50%. Dengan adanya standar ini, pelanggan bertanggung jawab untuk membatasi jumlah arus harmonisa yang masuk ke dalam sistem, sementara sistem tenaga listrik berkewajiban membatasi besarnya tegangan harmonisa yang berasal dari sumber daya listrik.

H. Filter Harmonisa

Harmonisa dapat dikurangi dengan menggunakan rangkaian filter yang dirancang khusus untuk mereduksi

gangguan tersebut. Secara umum, filter harmonisa terbagi menjadi dua jenis, yaitu filter aktif dan filter pasif.

1. Filter Aktif

Filter aktif adalah jenis filter yang menggunakan komponen elektronika daya atau komponen aktif seperti Op-Amp, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), dan MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor). Keunggulan dari filter aktif adalah kemampuannya bekerja secara independen terhadap karakteristik impedansi sistem dan tidak menimbulkan resonansi dalam jaringan. Namun, dibandingkan dengan filter pasif, filter aktif memiliki biaya yang lebih tinggi dan sistem yang lebih kompleks.

2. Filter Pasif

Filter pasif adalah jenis filter yang umum digunakan untuk mereduksi harmonisa dalam sistem tenaga listrik. Filter ini bekerja dengan menyaring atau menolak frekuensi tertentu sesuai dengan desainnya, menggunakan kombinasi resistor, kapasitor, dan induktor. Penggunaan filter pasif menjadi solusi yang efektif dan ekonomis dalam mengurangi harmonisa serta mengompensasi kerugian daya akibat harmonik.

Prinsip kerja filter pasif adalah mengalihkan arus harmonisa dari sumber harmonisa ke jaringan filter. Agar arus harmonisa mengalir melalui filter pada orde tertentu, kapasitor harus dirancang sedemikian rupa sehingga terjadi resonansi, yang menurunkan impedansi pada saluran. Kapasitor yang memiliki impedansi rendah pada frekuensi tinggi dipasang paralel dengan beban untuk menyerap harmonisa, sedangkan induktor dipasang seri dengan beban untuk menahan perubahan arus secara tiba-tiba.

Pemasangan filter pasif dalam sistem tenaga listrik bertujuan untuk mengurangi amplitudo harmonisa pada orde ke- n , sehingga menghambat penyebaran arus harmonisa ke dalam sistem. Selain itu, filter pasif juga dapat mengompensasi daya reaktif dan membantu memperbaiki faktor daya sistem.

Dalam konfigurasi filter pasif, kapasitor dapat dihubungkan seri atau paralel untuk mencapai tegangan dan kapasitas daya reaktif (kVAr) yang diinginkan, sedangkan induktor dirancang untuk menahan efek frekuensi tinggi seperti efek kulit.

Meskipun memiliki banyak kelebihan, filter pasif juga memiliki beberapa kelemahan, di antaranya tergantung pada impedansi sumber sistem, frekuensi sistem, dan toleransi komponen. Ada beberapa jenis filter pasif yang dapat digunakan untuk meredam harmonisa, seperti: single tuned passive filter (band-pass filter), high pass filter, double band-pass filter dan composite filter.

I. Desain Single Tuned Passive Filter

Langkah-langkah untuk merancang *single tuned passive filter*:

1. Sebelum merancang filter pasif, langkah pertama adalah mengetahui besarnya kebutuhan daya reaktif dalam sistem. Daya reaktif ini digunakan untuk menentukan kapasitor yang diperlukan dalam rangka memperbaiki faktor daya serta meningkatkan efisiensi sistem tenaga

listrik. Besarnya nilai kapasitor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_C = P(\tan\phi_{awal} - \tan\phi_{akhir}) \quad (10)$$

dengan :

Q_C = Perbaikan faktor daya (kVAR)

P = Daya nyata (kW)

ϕ = Sudut fasa

Setelah mengetahui nilai daya reaktif yang dibutuhkan, langkah berikutnya adalah menentukan reaktansi kapasitif (X_C) dan nilai kapasitansi (C) dari kapasitor yang akan digunakan dalam Single Tuned Passive Filter.

$$X_C = \frac{v^2}{Q_C} \quad (11)$$

dengan :

X_C = Reaktansi kapasitif (Ω)

v^2 = Tegangan (kV)

Q_C = Perbaikan faktor daya (kVAR)

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (12)$$

dengan :

C = Kapasitor (F)

X_C = Reaktansi kapasitif (Ω)

f = Frekuensi fundamental 50 Hz

2. Setelah menentukan nilai kapasitansi, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai induktansi (L) dan reaktansi induktif (X_L) untuk komponen filter. Nilai-nilai ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$L = \frac{1}{(C)(2\pi f \times n)^2} \quad (13)$$

dengan :

L = Induktor (H)

C = Kapasitor (F)

f = Frekuensi fundamental 50 Hz

n = Nilai ordo harmonisa yang akan dieliminasi

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L \quad (14)$$

dengan :

X_L = Reaktansi induktif (Ω)

L = Induktor (H)

f = Frekuensi fundamental (50 Hz)

3. Untuk menentukan nilai resistor (R) dalam komponen filter, terlebih dahulu perlu mengetahui faktor kualitas (Q) dari filter. Nilai Q umumnya berada dalam rentang 40–80, tergantung pada desain filter yang diinginkan.

$$R = \frac{n \times X_L}{Q} \quad (15)$$

dengan :

R = Nilai resistor (Ω)

X_L = Reaktansi induktif (Ω)

n = Nilai ordo harmonisa yang akan dieliminasi

Q = Faktor Kualitas

J. ETAP

ETAP (Electrical Transient Analysis Program) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis sistem

kelistrikan secara mendetail, mulai dari distribusi daya hingga analisis jaringan. ETAP dapat bekerja secara offline untuk melakukan analisis aliran daya (load flow), gangguan hubung singkat (short circuit), harmonisa, serta proteksi pada motor.

Sebagai perangkat lunak berbasis grafis, ETAP berfungsi sebagai alat analisis yang memungkinkan desain dan pengujian kondisi sistem tenaga listrik. Software ini dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik secara offline melalui modul simulasi, memonitor data operasi secara real-time, melakukan simulasi sistem real-time, optimasi, manajemen energi, serta simulasi pemadaman beban cerdas (intelligent load shedding).

ETAP dirancang untuk menangani berbagai kondisi serta topologi sistem tenaga listrik, baik pada sisi utilitas maupun industri. Software ini juga dilengkapi dengan berbagai fitur pendukung simulasi, seperti jaringan AC dan DC, desain jaringan kabel (cable raceways), koordinasi dan selektivitas perangkat proteksi, serta diagram kontrol sistem AC/DC.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik pengumpulan Data

Penelitian ini berfokus pada analisis harmonisa tegangan pada sistem distribusi listrik di Maumere yang telah terintegrasi dengan PLTS Wairbleler berkapasitas 1 MWp. Untuk mendukung penelitian ini, dilakukan studi literatur serta pengumpulan data dari PLN Kabupaten Sikka. Proses analisis dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu:

1. Kajian Literatur

Tahap ini melibatkan studi pustaka untuk memahami teori-teori yang relevan serta menelusuri referensi dari buku dan jurnal internasional yang berkaitan dengan penelitian ini.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan mencakup sistem jaringan distribusi, seperti single line diagram, data transformator, data beban, dan data saluran. Selain itu, data mengenai PV terpasang sebesar 1 MWp juga dikumpulkan. Data tersebut kemudian dimasukkan dan disimulasikan menggunakan software ETAP 19.0.1.

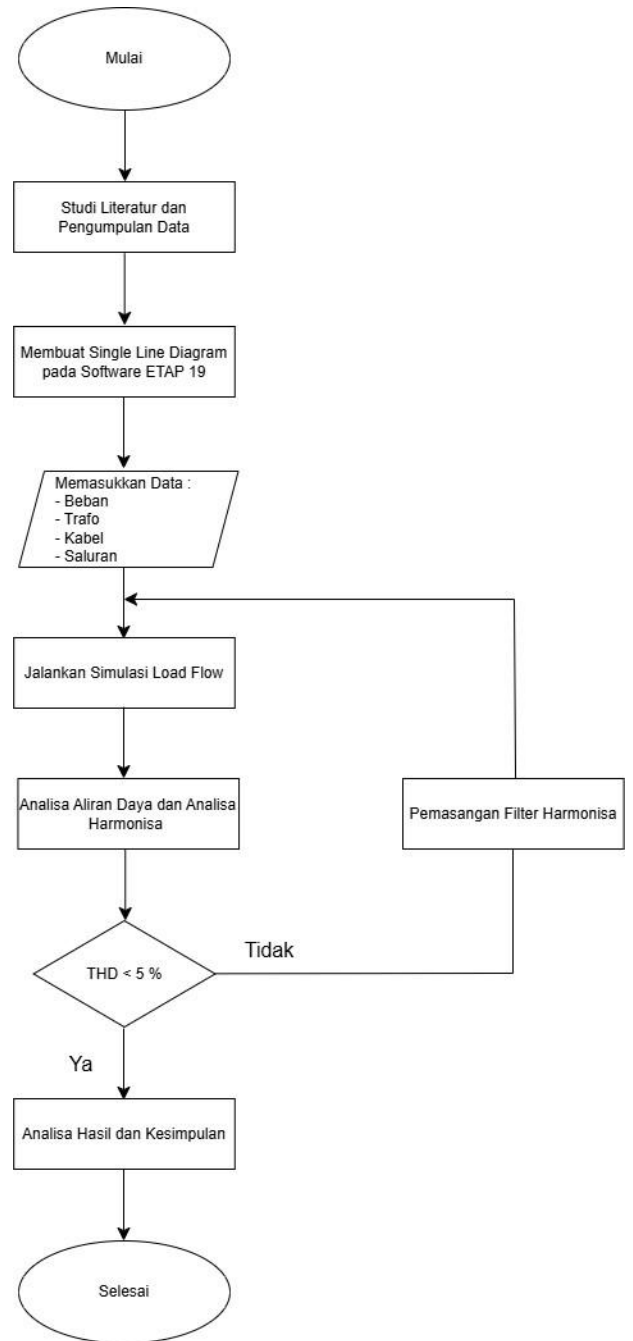
3. Simulasi dan Analisis

Pada tahap ini, dilakukan simulasi menggunakan software ETAP 19.0.1 untuk analisis aliran daya serta analisis harmonisa. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk menganalisis tingkat harmonisa tegangan dalam kondisi normal dan setelah sistem terintegrasi dengan PLTS 1 MWp.

B. Flowchart

Berikut merupakan alur penelitian yang dibuat dalam bentuk diagram alir (flowchart) yang akan mempermudah proses analisa.

1. Flowchart Existing Sistem



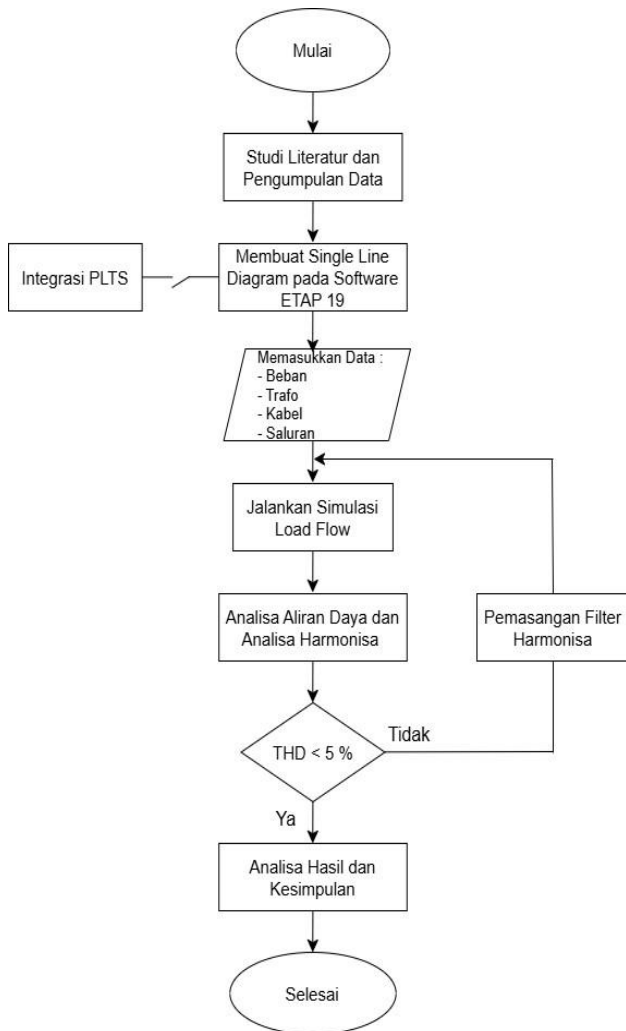
Gambar 1. Flowchart Existing Sistem

Gambar 1 di atas merupakan flowchart pada saat kondisi existing sistem, berikut dipaparkan langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian ini :

1. Mulai
2. Studi literatur dan mengumpulkan data
3. Memodelkan Single Line Diagram sistem distribusi penyalang Geliting menggunakan software ETAP 19.0.1.
4. Memasukkan data sistem distribusi berupa beban, data trafo, dan data saluran sistem distribusi penyalang Geiting.

5. Menjalankan simulasi load flow dan harmonisa pada SLD yang sudah digambar pada ETAP
6. Menganalisa hasil simulasi gangguan harmonisa pada ETAP
7. Menentukan apakah harmonisa sudah sesuai standar IEEE 519-1992
8. Jika Tidak maka akan dilakukan pemasangan filter harmonisa untuk mengurangi nilai harmonisa
9. Jika Ya maka akan dilakukan analisis akhir
10. Analisis akhir dan penarikan Kesimpulan
11. Selesai

2. Flowchart dengan Integrasi PLTS



Gambar 2. Flowchart dengan Integrasi PLTS

Gambar 2 merupakan flowchart saat diintegrasikan dengan PLTS. Untuk memperjelas flowchart di atas, maka peneliti memaparkan langkah-langkah dalam penyelesaian penelitian ini :

1. Mulai
2. Studi literatur dan mengumpulkan data
3. Memodelkan Single Line Diagram sistem distribusi penyalang Geliting menggunakan software ETAP

19.0.1. sebelum dan sesudah terintegrasi dengan PLTS

4. Memasukkan data sistem distribusi berupa beban, data trafo, dan data saluran sistem distribusi penyalang Geiting.
5. Menjalankan simulasi load flow dan harmonisa pada SLD yang sudah digambar pada ETAP
6. Menganalisa hasil simulasi gangguan harmonisa pada ETAP
7. Menentukan apakah harmonisa sudah sesuai standar IEEE 519-1992
8. Jika Tidak maka akan dilakukan pemasangan filter harmonisa untuk mengurangi nilai harmonisa
9. Jika Ya maka akan dilakukan analisis akhir
10. Analisis akhir dan penarikan Kesimpulan
11. Selesai

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Harmonic Analysis Kondisi Eksisting

Penulis melakukan simulasi *harmonic analysis* menggunakan software ETAP 19.0.1. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui nilai THD tegangan dan orde harmonisa yang dominan pada sistem. Hasil *running* harmonisa diperoleh tingkat distorsi harmonisa total tegangan kondisi eksisting dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 3. Hasil Simulasi Harmonisa Sebelum Terintegrasi PLTS

Bus ID	THD (%)	Bus ID	THD (%)	Bus ID	THD (%)
Bus1	1.5	Bus51	0.91	Bus101	1.58
Bus2	1.42	Bus52	1.44	Bus102	1.58
Bus3	1.41	Bus53	1.44	Bus103	0.99
Bus4	1.41	Bus54	0.87	Bus104	1.58
Bus5	0.81	Bus55	1.45	Bus105	1.58
Bus6	1.41	Bus56	1.45	Bus106	0.99
Bus7	1.41	Bus57	0.9	Bus107	1.64
Bus8	0.84	Bus58	1.47	Bus108	1.64
Bus9	1.41	Bus59	1.47	Bus109	1.04
Bus10	1.41	Bus60	0.9	Bus110	1.66
Bus11	0.8	Bus61	1.48	Bus111	1.66
Bus12	1.41	Bus62	1.48	Bus112	1.28
Bus13	1.41	Bus63	0.91	Bus113	1.82
Bus14	1.4	Bus64	1.49	Bus114	1.82
Bus15	1.4	Bus65	1.49	Bus115	1.71
Bus16	0.81	Bus66	0.91	Bus116	1.87
Bus17	1.38	Bus67	1.54	Bus117	1.87
Bus18	1.38	Bus68	1.54	Bus118	1.28
Bus19	0.81	Bus69	1.54	Bus119	1.92
Bus20	1.35	Bus70	0.96	Bus120	1.92

Bus21	1.35	Bus71	1.55	Bus121	1.94
Bus22	0.83	Bus72	1.55	Bus122	1.94
Bus23	1.38	Bus73	1.02	Bus123	1.23
Bus24	1.38	Bus74	1.57	Bus124	1.97
Bus25	0.85	Bus75	1.57	Bus125	1.97
Bus26	1.42	Bus76	0.98	Bus126	1.32
Bus27	1.42	Bus77	1.58	Bus127	2
Bus28	1.42	Bus78	1.58	Bus128	2
Bus29	0.86	Bus79	1.58	Bus129	1.58
Bus30	1.45	Bus80	1	Bus130	2.02
Bus31	1.45	Bus81	1.59	Bus131	2.02
Bus32	0.93	Bus82	1.59	Bus132	1.35
Bus33	1.46	Bus83	0.98	Bus133	2.07
Bus34	1.46	Bus84	1.59	Bus134	2.07
Bus35	1.46	Bus85	1.59	Bus135	1.28
Bus36	0.9	Bus86	1	Bus136	2.08
Bus37	1.46	Bus87	1.58	Bus137	2.08
Bus38	1.46	Bus88	1.58	Bus138	1.28
Bus39	0.88	Bus89	0.98	Bus139	2.08
Bus40	1.46	Bus90	1.57	Bus140	2.08
Bus41	1.46	Bus91	1.57	Bus141	1.28
Bus42	0.9	Bus92	1.57	Bus142	2.09
Bus43	1.46	Bus93	1	Bus143	2.09
Bus44	1.46	Bus94	1.57	Bus144	1.38
Bus45	0.87	Bus95	1.57	Bus145	2.09
Bus46	1.47	Bus96	1.04	Bus146	2.09
Bus47	1.47	Bus97	1.58	Bus147	1.38
Bus48	0.88	Bus98	1.58	Bus148	2.09
Bus49	1.47	Bus99	0.97	Bus149	2.09
Bus50	1.47	Bus100	1.58	Bus150	1.29

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat besar nilai THD tegangan pada sistem kelistrikan Penyulang Geliting. Data tersebut menunjukkan bahwa semua bus yang ada pada sistem kelistrikan Penyulang Geliting memiliki THDv di rentang 0.8-3 % dan sudah sesuai standar. Dimana batas ambang normal yang diperbolehkan sesuai dengan standar IEEE 519-1992 untuk sistem kelistrikan dengan level tegangan ≤ 69 kV sebesar 5 %.

B. Harmonic Analysis Kondisi Setelah Diintegrasikan dengan PLTS

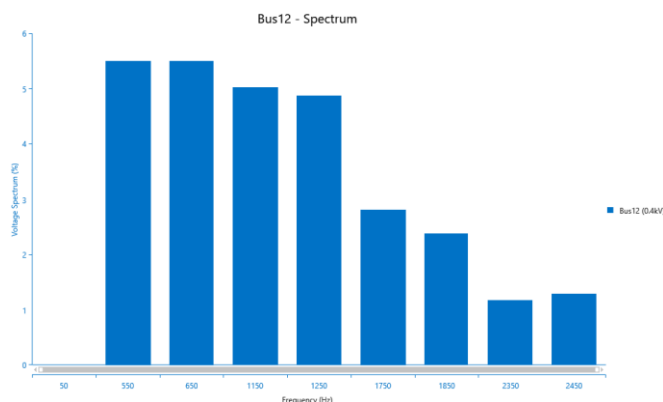
Berikut merupakan data hasil simulasi harmonisa tegangan pada Penyulang Geliting setelah diintegrasikan dengan PLTS menggunakan software ETAP 19.0.1.

Tabel 4. Hasil Simulasi Harmonisa Setelah Terintegrasi PLTS

Bus ID	THD (%)	Bus ID	THD (%)	Bus ID	THD (%)
Bus1	1.43	Bus51	1.03	Bus101	1.78
Bus2	1.54	Bus52	1.62	Bus102	1.78
Bus3	1.55	Bus53	1.62	Bus103	1.11
Bus4	1.56	Bus54	0.98	Bus104	1.78
Bus5	0.89	Bus55	1.63	Bus105	1.78
Bus6	1.56	Bus56	1.63	Bus106	1.11
Bus7	1.55	Bus57	1.01	Bus107	1.84
Bus8	0.93	Bus58	1.65	Bus108	1.84
Bus9	1.59	Bus59	1.65	Bus109	1.17
Bus10	1.59	Bus60	1.01	Bus110	1.87
Bus11	0.9	Bus61	1.66	Bus111	1.87
Bus12	11.06	Bus62	1.66	Bus112	1.44
Bus13	1.59	Bus63	1.02	Bus113	2.04
Bus14	1.58	Bus64	1.68	Bus114	2.04
Bus15	1.58	Bus65	1.68	Bus115	1.93
Bus16	0.91	Bus66	1.02	Bus116	2.1
Bus17	1.55	Bus67	1.73	Bus117	2.1
Bus18	1.55	Bus68	1.73	Bus118	1.43
Bus19	0.91	Bus69	1.73	Bus119	2.15
Bus20	1.53	Bus70	1.08	Bus120	2.15
Bus21	1.53	Bus71	1.75	Bus121	2.18
Bus22	0.93	Bus72	1.75	Bus122	2.18
Bus23	1.55	Bus73	1.15	Bus123	1.38
Bus24	1.55	Bus74	1.77	Bus124	2.21
Bus25	0.96	Bus75	1.77	Bus125	2.21
Bus26	1.6	Bus76	1.1	Bus126	1.48
Bus27	1.6	Bus77	1.78	Bus127	2.25
Bus28	1.6	Bus78	1.78	Bus128	2.25
Bus29	0.97	Bus79	1.78	Bus129	1.78
Bus30	1.64	Bus80	1.12	Bus130	2.28
Bus31	1.64	Bus81	1.79	Bus131	2.28
Bus32	1.04	Bus82	1.79	Bus132	1.52
Bus33	1.64	Bus83	1.1	Bus133	2.33
Bus34	1.64	Bus84	1.79	Bus134	2.33
Bus35	1.64	Bus85	1.79	Bus135	1.44
Bus36	1.01	Bus86	1.13	Bus136	2.34
Bus37	1.64	Bus87	1.78	Bus137	2.34
Bus38	1.64	Bus88	1.78	Bus138	1.44
Bus39	0.99	Bus89	1.1	Bus139	2.34
Bus40	1.65	Bus90	1.76	Bus140	2.34

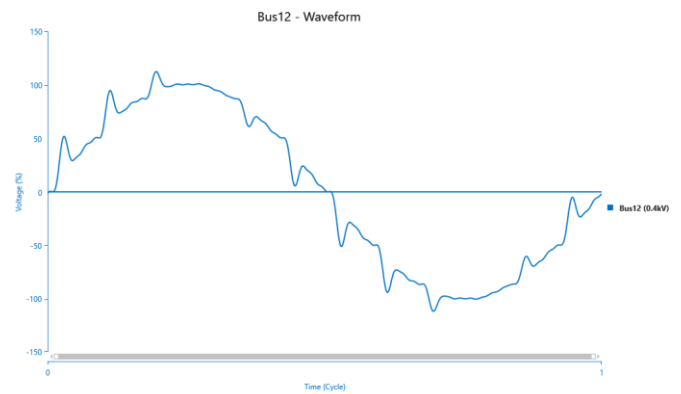
Bus41	1.65	Bus91	1.76	Bus141	1.44
Bus42	1.01	Bus92	1.76	Bus142	2.35
Bus43	1.65	Bus93	1.12	Bus143	2.35
Bus44	1.65	Bus94	1.77	Bus144	1.55
Bus45	0.98	Bus95	1.77	Bus145	2.36
Bus46	1.66	Bus96	1.17	Bus146	2.36
Bus47	1.66	Bus97	1.78	Bus147	1.55
Bus48	0.99	Bus98	1.78	Bus148	2.36
Bus49	1.66	Bus99	1.09	Bus149	2.36
Bus50	1.66	Bus100	1.78	Bus150	1.45

Pada tabel 4 di atas dapat dilihat setelah diintegrasikan dengan PLTS pada bus 12, nilai THD pada semua bus mengalami peningkatan yang disebabkan oleh adanya inverter dari PLTS. Peningkatan nilai THD yang besar terdapat pada bus 12 yaitu terjadi peningkatan nilai THD dari 1.41 % menjadi 11.06 % dan sudah melebihi standar IEEE 519-1992. Untuk bus lainnya mengalami peningkatan distorsi yang kecil yaitu masih di rentang 0.89-3 % dan sudah memenuhi standar IEEE 519-1992.



Gambar 3. Spektrum pada Bus 12

Gambar 3 di atas merupakan gambar *voltage spektrum* pada bus 12 pada saat diintegrasikan dengan PLTS. Persentase *voltage spektrum* menunjukkan perbandingan persentase tegangan harmonisa dengan tegangan fundamental. Pada gambar persentase *voltage spektrum*, dapat dilihat bahwa harmonisa muncul pada orde ganjil yaitu pada orde 11, 13, 23, 25, 35, 37, 47, dan 49. Harmonisa muncul paling dominan pada orde ke-11 dan ke-13 yaitu dimana nilai persen *voltage*nya di atas 5%.



Gambar 4. Bentuk Gelombang Terdistorsi Akibat PLTS

Gambar 4 di atas merupakan hasil dari simulasi gelombang harmonisa tegangan pada bus 12 pada saat terintegrasi PLTS dalam satu siklus gelombang. Bentuk gelombang ini tidak berbentuk sinusoidal murni, yang menunjukkan adanya distorsi harmonisa. Ini mengindikasikan bahwa ada komponen harmonisa dalam sistem yang berasal dari sumber beban non-linier seperti inverter PLTS. Terlihat adanya fluktuasi tajam pada puncak dan lembah, yang merupakan indikasi gangguan harmonisa orde tinggi.

C. Perancangan Filter Single Tuned untuk Meredam Distorsi Harmonisa

Pemasangan filter pasif jenis *single tuned* dapat untuk meredam distorsi harmonisa akibat adanya beban non linier. Kelebihan dari filter tersebut yaitu terdapat komponen kapasitor yang dapat memperbaiki nilai faktor daya. Pemasangan filter pasif *single tuned* dilakukan pada bus 12, dikarenakan nilai harmonisanya melebihi standar IEEE 519-1992.

Perhitungan dilakukan terhadap orde 11 dan 13, dikarenakan adanya harmonisa yang dominan. Perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

- Menentukan nilai perbaikan faktor daya
Untuk nilai daya dan faktor daya diperoleh dari simulasi *load flow* pada ETAP 19.0.1
 $P = 983.8 \text{ kW}$
 $\phi_{\text{awal}} = \text{Arc cos } 0.98$
 $\phi_{\text{akhir}} = \text{Arc cos } 0.995$
 $Q_c = P(\tan \phi_{\text{awal}} - \tan \phi_{\text{akhir}})$
 $Q_c = 983.8 (\tan 11.478^\circ - \tan 5.732^\circ)$
 $Q_c = 983.8 (0.2031 - 0.1004)$
 $Q_c = 983.8 (0.1027)$
 $Q_c = 101.036 \text{ kVAR}$
- Menghitung nilai reaktansi kapasitif
 $v = 0.4 \text{ kV}$
 $X_c = \frac{v^2}{Q_c}$
 $X_c = \frac{400^2}{101.036}$
 $X_c = 1.584 \Omega$

3. Menghitung nilai kapasitor

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_C}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 1.584}$$

$$C = 0.00201 \text{ F}$$

4. Menghitung nilai inductor

Untuk orde ke-11

$$n = 11$$

$$L = \frac{1}{(C)(2\pi f \times n)^2}$$

$$L = \frac{1}{(0.00201)(2 \times 3.14 \times 50 \times 11)^2}$$

$$L = 0.0000417 \text{ H}$$

Untuk orde ke-13

$$n = 13$$

$$L = \frac{1}{(C)(2\pi f \times n)^2}$$

$$L = \frac{1}{(0.00201)(2 \times 3.14 \times 50 \times 13)^2}$$

$$L = 0.000029857 \text{ H}$$

5. Menghitung nilai reaktansi induktif

Untuk orde ke-11

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.0000417$$

$$X_L = 0.0131 \Omega$$

Untuk orde ke-13

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.000029857$$

$$X_L = 0.009375 \Omega$$

6. Menghitung nilai resistor

Untuk nilai Q pada umumnya berkisar antara 40-80. Pada penelitian ini, dipilih nilai Q sebesar 50 karena semakin besar nilai Q, maka kualitas filter juga semakin baik.

Untuk orde ke-11

$$R = \frac{n \times X_L}{Q}$$

$$R = \frac{11 \times 0.0131}{50}$$

$$R = 0.00288 \Omega$$

Untuk orde ke-13

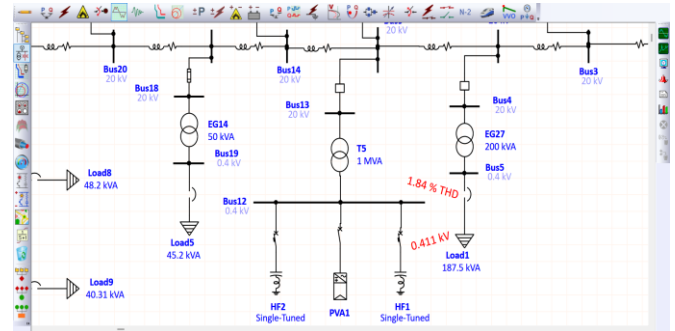
$$R = \frac{n \times X_L}{Q}$$

$$R = \frac{13 \times 0.009375}{50}$$

$$R = 0.00244 \Omega$$

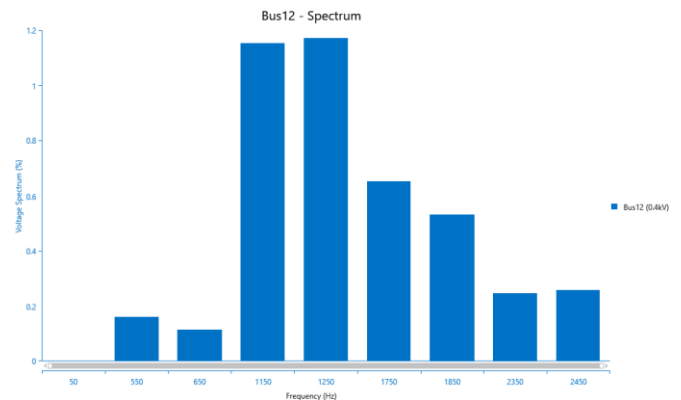
D. Hasil Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter Harmonisa

Berikut merupakan gambar simulasi setelah dilakukan pemasangan filter *single tuned* pada bus 12.



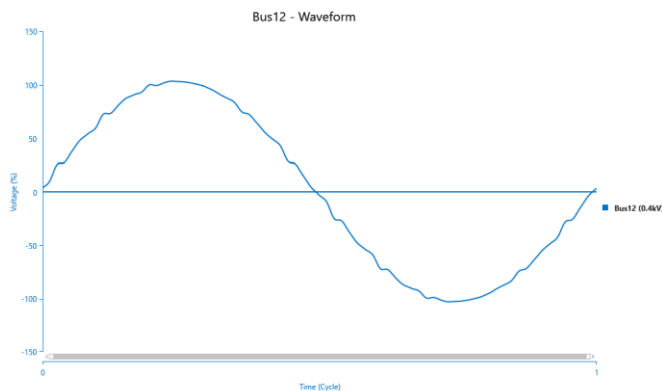
Gambar 5. Hasil Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter

Dapat dilihat dari gambar 5 di atas bahwa penambahan filter pasif *single tuned* pada bus 12 dapat menurunkan nilai THDv sebesar 9.22 %. Dimana sebelum ditambahkan filter nilainya sebesar 11.06 % dan setelah ditambahkan filter menjadi sesuai standar yaitu 1.84 % dimana standar THDv di Penyulang Geliting sebesar 5 %.



Gambar 6. Spektrum Setelah Pemasangan Filter

Gambar 6 menunjukkan spektrum harmonisa tegangan pada bus 12 setelah pemasangan filter harmonisa pada orde ke-11 dan orde ke-13. Harmonisa pada orde ke-11 (550 Hz) dan orde ke-13 (650 Hz) berkurang secara signifikan, Dimana sebelum dilakukan pemasangan filter nilai *voltage spektrum* awalnya di atas 5 %, setelah dilakukan pemasangan filter menjadi dibawah 0.2 %, ini menunjukkan bahwa filter telah bekerja dengan baik.



Gambar 7. Bentuk Gelombang Harmonisa Setelah Pemasangan Filter

Gambar 7 menunjukkan bentuk gelombang tegangan pada bus 12 setelah pemasangan filter harmonisa dalam 1 siklus. Bentuk gelombang lebih menyerupai sinusoidal dibandingkan sebelum dilakukan pemasangan filter, menunjukkan bahwa harmonisa orde ke-11 dan orde ke-13 telah berkurang secara signifikan. Bentuk gelombang juga tidak ada lonjakan mendadak, yang menunjukkan bahwa filter bekerja dengan baik dalam menekan harmonisa tertentu.

V. PENUTUP

Berdasarkan simulasi analisa harmonisa tegangan pada kondisi sebelum dan sesudah terintegrasi dengan PLTS setelah dilakukan redesain dengan software ETAP 19.0.1, dapat disimpulkan bahwa pada penyulang Geliting pada saat sebelum terintegrasi dengan PLTS nilai THDv-nya sebesar 1.41% dan telah memenuhi standar IEEE 519-1992 yang diizinkan yaitu $\leq 5\%$. Sedangkan pada saat penyulang Geliting terintegrasi dengan PLTS nilai THDv-nya 11.06% dan menunjukkan bahwa nilai THDv-nya melebihi batas standar IEEE yang diizinkan yaitu $\leq 5\%$. Ini menunjukkan bahwa setelah terintegrasi PLTS terjadi peningkatan nilai distorsi harmonisa yang dihasilkan dari inverter PLTS. Karena pada saat terintegrasi dengan PLTS nilainya melebihi batas standar yang ditentukan maka akan dilakukan pemasangan filter. Setelah dilakukan pemasangan filter *single tuned* pada bus 12 dengan simulasi ETAP 19.0.1 dengan menggunakan parameter yang telah dihitung, nilai distorsi harmonisa berkurang dari 11.06% menjadi 1.84% dan sudah memenuhi standar IEEE 519-1992.

Saran

Dalam sistem tenaga listrik, pemasangan filter harmonisa perlu dilakukan berdasarkan parameter-parameter sistem agar dapat mengurangi distorsi harmonisa secara efektif ketika melebihi batas standar.

VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] A. B. Muljono, I. M. Ari Nnatha, I. M. Ginarsa, Sultan, and I. Ketut Perdana Putra, "Pengaruh Variasi Parameter Filter Terhadap Harmonisa Pada Operasi PLTS Terintegrasi Sistem Tenaga Listrik," *DIELEKTRIKA*,

vol. 11, no. 1, pp. 63–72, Feb. 2024, doi: 10.29303/dielektrika.v11i1.374.

- [2] I. G. A. Gunawan, I. W. Rinas, and I. W. A. Wijaya, "Analisis Distorsi Harmonisa Pada Penyulang Abang Karangasem Setelah Terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," vol. 2, no. 3, 2015.
- [3] A. Ghifari, A. Warsito, and S. Handoko, "Studi Harmonisa Pengaruh Kapasitor Bank pada Sistem Kelistrikan PT. Chandra Asri Petrochemical, TBK".
- [4] M. Rizqitama, "Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Transformator Daya 3000 kVA, 20 kV/380 v di PPSPDM MIGAS CEPU".
- [5] D. Oleh, "Analisis Efek Harmonisa Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Kelistrikan Lombok," 2019.
- [6] Z. Aini and A. Mar'i, "Desain Single Tuned Filter Terhadap Harmonisa pada Transformator Distribusi".
- [7] "Analisis Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro."
- [8] A. B. S. Futri, K. Karnoto, and A. A. Zahra, "Analisa Harmonisa Tegangan dan Arus Pada Sistem Elektrikal Gedung Teknik PWK dan Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 4, pp. 526–531, Dec. 2020, doi: 10.14710/transient.v9i4.526-531.
- [9] T. Nugroho and I. Reza, "Analisis Pengukuran dan Perhitungan Total Harmonic Distortion (THD) Pada Beban Non Linier," *J. Sains Teknol. Fak. Tek. Univ. Dharma Persada*, vol. 12, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2022, doi: 10.70746/jstunsada.v12i1.166.
- [10] L. Halim, "Kajian Interkoneksi untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-grid 7 kW," vol. 21, no. 1, 2023.
- [11] T. Koerniawan and A. W. Hasanah, "Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT-PLN Jakarta," *KILAT*, vol. 8, no. 2, Oct. 2019, doi: 10.33322/kilat.v8i2.547.
- [12] R. Kurniawan, M. Daud, and A. Hasibuan, "Study of Power Flow and Harmonics when Integrating Photovoltaic into Microgrid," *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 33–46, Nov. 2022, doi: 10.46574/motivecton.v5i1.171.
- [13] I. D. G. Wisnu Agung Bayuna, I. W. Sukerayasa, and W. G. Ariastina, "Studi Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya pada Penyulang Menjangan," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 1, p. 123, Sep. 2016, doi: 10.24843/MITE.1601.17.
- [14] D. Antono, A. Wasono, and L. J. D. Atmanto, "Harmonisa Arus dan Tegangan pada Jaringan Listrik Akibat Pembebanan Air Condition (AC) Inverter Tiga Fasa".
- [15] M. Y. Syamil, "Analisis Harmonisa Arus dan Tegangan pada Ruang NOC (Network Operations Center) UPT TIK".
- [16] "Electrical Power Systems Quality, Second Edition," 2004.
- [17] A. Prasetyo and I. A. Darwanto, "Analisis Simulasi Gelombang Harmonisa dan Instalasi Filter

Menggunakan ETAP 12.6 pada Bus PWI di JOB Pertamina,” vol. 14, no. 1, 2020.

- [18] C. Hudaya, “Analisis Pengaruh Harmonisa Pada Transformator Distribusi di Hari Kerja dan di Hari Libur pada Gedung Perkantoran,” *J. TAMBORA*, vol. 5, no. 1, pp. 72–79, Feb. 2021, doi: 10.36761/jt.v5i1.1003.
- [19] Siliwangi, Abdul Aziz Akbar, “Analisis Harmonisa Pada Pabrik Mie Gunung Mandala-1.”
- [20] Joslen Sinaga, Ruth Meivera Siburian, dan Jamot Sirait, “Analisa Pengaruh Harmonisa Pada Pengoperasian Beban Listrik.”, Vol 9 No 2, 2020

VII. BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Irenetta Boru Silalahi lahir pada tanggal 21 Februari 2001. Penulis menempuh pendidikan menengah atas di SMA Budi Mulia Pematangsiantar pada tahun 2016 dengan memilih Jurusan Ilmu Pengetahuan Alam hingga lulus pada tahun 2019. Selanjutnya melanjutkan Pendidikan Diploma III di Politeknik Negeri Medan dengan Program Studi Teknik Elektro lulus pada tahun 2022. Kemudian melanjutkan Strata-1 di Institut Teknologi Nasional Malang dengan program studi Teknik Elektro konsentrasi Energi Listrik. Email penulis yaitu irenetta39@gmail.com