

Analisa Anti *Islanding* pada Inverter 3 Fase PLTS Hybrid 5 Kw Terhadap Jaringan PLN

Imelda Uli Vistalina Simanjutak¹ dan Ali Artanto²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercubuana

Jl. Raya, RT.4/RW.1, Meruya Sel., Kec. Kembangan, Jakarta, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11650

e-mail: imelda.simanjutak@mercubuana.ac.id

Abstrak— PLTS Hybrid adalah salah satu jenis pembangkit listrik tenaga surya yang juga menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi listrik dan masih terhubung dengan jaringan PLN, supaya untuk menutupi kekurangan pasokan energi listrik terhadap beban (*impor*) maupun menyalurkan energi berlebih saat PLTS produksi berlebih dan energi beban sudah terpenuhi serta energi baterai juga terpenuhi (*ekspor*). Oleh karena itu pada penelitian kali ini membahas mengenai dua sumber pembangkit ketika sinkron (PLTS dan PLN) yang mana dibutuhkan system anti *islanding* yang baik supaya tidak terjadi *islanding* yang dapat mempengaruhi masalah kualitas daya, integritas sistem, serta keamanan. Penelitian dilakukan dengan membandingkan data ketika saat jaringan PLN belum tersinkron dengan PV (*photovoltaick*), sesudah tersinkron dengan PV, belum tersinkron dengan baterai, sesudah tersinkron dengan baterai dan pengaruh beban terhadap keandalan system. Dimana nantinya akan diketahui data-data yang membuat system *islanding* terjadi dan dibutuhkan metode *anti islanding* yang tepat.

Kata kunci: PLTS Hybrid, sinkron, *islanding*, *anti islanding*

Abstract—PLTS Hybrid is a type of solar power plant that also uses batteries as electrical energy storage and is still connected to the PLN network to meet the shortage of electrical energy supply to the load (*imports*) or to transfer energy when PLTS is over-production and the load has been fulfilled and battery energy is also fulfilled (*ekspor*). Therefore, in this study, we discuss two sources of synchronous power generation (PLTS and PLN) which require a good anti-*islanding* system so that *islanding* does not occur which can affect power quality, system integrity, and security problems.

The research was conducted by comparing the data when the PLN network was not synchronized with PV (*photovoltaic*), after synchronizing with PV, not synchronizing with the battery, after synchronizing with the battery and the effect of the load on the reliability of the system. Where will later know the data that makes the *islanding* system and appropriate anti-*islanding* metode is needed.

Keywords : PLTS Hybrid, synchronous, *islanding*, *anti islanding*.

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya alam energi yang berlimpah. Sehingga cadangan energi fosil yang ada semakin menipis[1]. Kebutuhan energi dari PLN tidak cukup, oleh karena itu dibutuhkan cadangan atau sistem pembangkit hybrid. Selama ini pada saat terjadi *Black Out* (BO) pembangkit dibantu oleh baterai sampai pembangkit cadangan siap di hubungkan.

Sistem pembangkit listrik hybrid yang terhubung ke pembangkit listrik negara (PLN) handal secara otomatis ataupun manual akan saling menutupi kekurangan satu sama lain[2]. Sehingga ketika saat siang hari yang mana intensitas cahaya tinggi maka suplay daya listrik untuk beban akan disuplay dari PLTS dan jika tidak mencukupi maka sisanya akan disuplay oleh *grid* PLN. Pada malam hari, PLTS tidak dapat menghasilkan energi listrik dan disuplai oleh *grid* PLN. Sehingga ketergantungan terhadap *grid* PLN dapat berkurang. Selama ini sudah banyak

penelitian yang mengoptimasi baterai seperti pada referensi [3], akan tetapi topik mengoptimasi dari sisi *anti-islanding* juga tidak kalah menarik untuk di teliti lebih lanjut.

Metode *anti-islanding* salah satu cara untuk mengatasi permasalahan integritas sistem, kualitas daya dan keamanan sistem ketika sinkronisasi dengan jaringan PLN. Defenisi *islanding* adalah kondisi pembangkit (inverter) masih menyalurkan daya ke beban saat pemadaman listrik terjadi. Pada pembangkit sistem *grid-connected* permasalahan mengenai *Islanding* cukup mendapat perhatian yang besar.

Berikut adalah beberapa referensi penelitian deteksi *anti-islanding*. Referensi [4] mengusulkan metode variasi tegangan dari magnitude dan frekuensi yang tidak dapat diimplementasikan pada arus dc. Dengan mengamati daya reaktif dan frekuensi serta besarnya tegangan konstan selama waktu pembersihan referensi [5] mengusulkan teknik baru yaitu artificial immune system (ais) untuk mengoptimalkan deteksi *anti-islanding* yang menggunakan

metode sandia frequency shift (sfs). Hasilnya distorsi harmonik lebih sedikit daripada sfs konvensional, kemampuan deteksi menjadi lebih cepat terutama untuk zona non-deteksi yang lebih baik. Selanjutnya referensi [6] menggunakan metode *phase shifted feed-forward voltage* untuk mendeteksi *islanding*. Hasilnya proses deteksi dapat bekerja dalam durasi 90 ms meskipun faktor kualitas tinggi (qf). Kelebihan metode ini tidak menghasilkan daya reaktif terus menerus yang dapat mengurangi kualitas daya keluaran inverter. Metode deteksi *anti-islanding* juga sudah banyak diintegrasikan dengan proteksi. Berikut ada beberapa referensi pendukungnya. Referensi [7] mengusulkan metode deteksi *anti-islanding* pada penggunaan tegangan rendah dan diintegrasikan dengan proteksi secara bersamaan dalam inverter tiga fase. Metode ini menggunakan pemantauan tegangan dan frekuensi konstan dan bereaksi sesuai dengan persyaratan spesifik yang relevan. Hasilnya metode ini berkontribusi menjaga stabilitas sistem. Begitu juga dengan referensi [8] dan [9].

II. STUDI PUSTAKA

A. PLTS Hybrid

Pembangkit listrik tenaga surya adalah suatu sistem peralatan yang menghasilkan daya listrik aktif dengan cara mengkonversi energi matahari melalui sel surya menjadi energi listrik. Tabel 1 menampilkan beberapa klasifikasi pembangkit berdasarkan kapasitas mulai 1 Watt hingga 300 MW.

Tabel 1. Klasifikasi berdasarkan pembangkit

Klasifikasi Pembangkit	Kapasitas Pembangkitan	Luasan Area
Micro	1 Watt – 5 kW	< 26 m ²
Small	5 kW – 5 MW	< 26 Ha
Medium	5 MW – 50 MW	< 260 Ha
Large	50 MW – 300 MW	< 1519 Ha

Sedangkan sistem hybrid adalah sistem jaringan PLTS yang tersambung dengan jaringan PLN dengan tambahan baterai untuk cadangan sewaktu mati listrik. Pada jenis ini sistemnya hampir sama dengan *on grid* namun lebih kompleks karena jika sewaktu mati listrik maka masih dapat menyala karena adanya baterai sebagai cadangan, selain itu saat malam hari pun beban masih dapat ditanggung oleh baterai dan jika habis maka akan tersambung kembali dengan jaringan PLN. Sehingga secara penghematan tagihan PLN maka jenis hybrid ini sangatlah maksimal berbeda dengan *on grid* yang mana malam hari masih ditanggung oleh jaringan PLN.

B. Inverter 3 Fase Hybrid

Pada umumnya beban rumah tangga menggunakan listrik AC (bolak balik, karena mengonsumsi arus listrik yang kecil sehingga saat proses transmisi daya yang hilang kecil. Hal inilah yang membuat lebih efisiensi. Sehingga dibutuhkanlah suatu alat untuk merubah output panel surya yaitu arus DC menjadi AC, supaya bisa digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Komponen utama inverter adalah semikonduktor daya seperti saklar, kontroler dan lain-lain. Spesifikasi inverter 3 (tiga) fase yang digunakan tertera pada tabel 2.

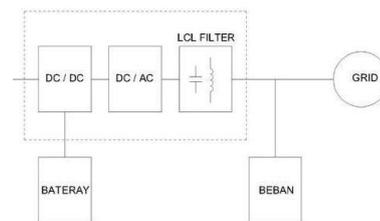
Tabel 2 Spesifikasi inverter yang digunakan

Input	Spesifikasi
Max DC Power	6000 Watt
MPPT voltage range	180 volt – 950 volt
Start input voltage	160 volt
Max input current	12 Ampere
OUTPUT	
Max AC Power	5500 Watt
Range grid voltage	380 V/220 V
Max AC current	8 Ampere
Efisiensi	98%

Inverter bekerja dengan mengambil tegangan referensi dari jaringan PLN sebagai standar pembangkit referensi *Pulse Width Modulation* (PWM). Kemudian sinyal dikirim ke *gate* dari komponen saklar transistor daya mosfet *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT).

Sistem saklar mengubah sumber tegangan DC menjadi AC dan sebaliknya. Filter pasif juga bekerja dengan mengubah sinyal keluaran inverter menjadi gelombang sinusoidal frekuensi 50 Hz. Dan keluaran sinyal output AC inverter terhadap sinyal PLN memiliki perbedaan fasa sehingga dapat mendeteksi beda 3 fasa delay PWM. Sehingga nilai tegangan dan beda fasa keluaran inverter dapat diatur sesuai nilai referensi PLN[10].

Beberapa inverter yang tersambung dengan jaringan PLN adalah *DC link*, *converter* (DC-DC), *converter* (DC-AC) dan *filter*. *Converter* (DC-DC) adalah rangkaian elektronika yang berfungsi mengubah daya listrik DC ke daya listrik DC lainnya. *DC link* adalah penghubung rangkaian elektronika antara *rectifier* serta *inverter* dari *rectifier*. *Converter* (DC-AC) ialah suatu rangkaian yang mengubah nilai daya listrik DC menjadi AC. *Filter* adalah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk menghilangkan harmonisa tegangan maupun arus dengan memisahkan sinyal berdasarkan frekuensi tertentu[11]. Gambar 1 menggambarkan blok diagram inverter.



Gambar 1. Blok diagram dalam Inverter

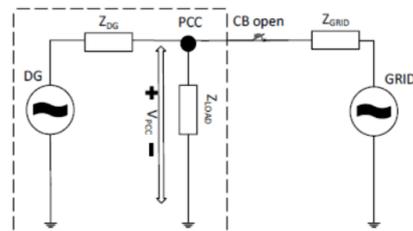
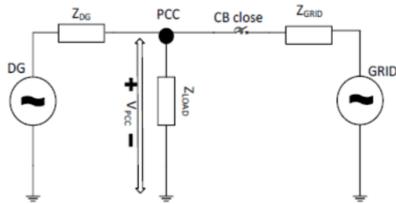
C. *Islanding*

Dalam proses penyambungan dengan jaringan, harmonisa keluaran inverter dan sinkronisasi adalah malah yang paling sering muncul. Apabila karakteristik daya listrik tidak sinkron di inverte akibatnya menyebabkan ketidakstabilan, kegagalan dan kerusakan pada jaringan distribusi dan berefek buruk terhadap barang elektronika yang terpasang[12].

Berdasarkan IEEE 1547 defenisi *islanding* adalah kondisi sudah terputus dari sumber energi jaringan utama tetapi masih di suplai dari pembangkit listrik lokal terdekat seperti PLTS. Hal ini menjadi permasalahan serius sistem *grid-connected* (DG). Pada saat jaringan PLN terputus

maka selanjutnya pembangkit listrik sel surya bekerja, sehingga mengakibatkan:

1. Kerusakan pada peralatan listrik yang terhubung.
2. *Islanding* yang mengganggu operasional selama pembangkit bekerja.



Gambar 2 Kondisi normal (atas) dan kondisi islanding (bawah)

Gambar 2 (atas) adalah kondisi jaringan normal dan 2 (bawah) kondisi terjadinya *islanding*. Kondisi *islanding* berpengaruh terhadap tegangan dan frekuensi. Dibawah ini beberapa dampak dari *islanding* :

- a. Penurunan frekuensi karena gangguan pembangkit
 Penurunan nilai frekuensi terjadi karena hubungan singkat, penambahan beban secara tiba-tiba. Berikut adalah rumus mengukur besar penurunan nilai frekuensi:

$$\frac{df}{dt_{(0-1)}} = \frac{f_0}{2H} \frac{P_{S0}}{P_{GOT} - P_{SOT}} \quad (1)$$

Keterangan:

- f_0 = Frekuensi nominal sistem (Hz)
- H = Konstanta Inersia (detik)
- P_{S0} = Daya yang dibangkitkan pada area yang mengalami gangguan (MW)
- P_{GOT} = Total kapasitas seluruh pembangkit (MW)
- P_{SOT} = Kapasitas pembangkit yang mengalami gangguan

Pada selang waktu $t_1 - t_0$, nilai frekuensi:

$$f_1 = f_0 + \left[\left(\frac{df}{dt} \right)_{Q-1} (t_1 - t_0) \right] \quad (2)$$

Berikutnya pada selang waktu t_1 dan t_2 , perhitungan besaran selisih daya:

$$\frac{df}{dt_{(0-1)}} = \frac{f_1}{2H} \frac{(P_{GO} - P_{S0}) - PB_1}{P_{GOT} - P_{SOT}} \quad (3)$$

- P_{GO} = Beban sistem setelah gangguan
- P_{B1} = Daya yang dibangkitkan dalam sistem sebelum gangguan

- b. Pelepasan Beban Untuk Menghindarkan Gangguan
Load Shedding adalah tindakan pelepasan beban yang bertujuan melindungi beberapa unit pembangkit menjadi padam total atau *black out* secara otomatis atau manual[13]. Rumus pelepasan beban adalah sebagai berikut:

$$\frac{df}{dt_{(1-2)}} = \frac{f_2}{2H} \left\{ \frac{(P_{S0GO} - (P_{S0} - P_{BR}) - P_{B_2})}{P_{GOT} - P_{SOT}} \right\} \quad (4)$$

P_{BR} = Besar daya yang dilepas oleh relai frekuensi (MW)

D. Anti islanding

Untuk mendeteksi *islanding* dibutuhkan metode *anti-islanding*. Adapun metode selama ini dilakukan yaitu dari sisi *grid* atau sisi pembangkit (inverter). Deteksi *islanding* ada 2 (dua) cara yaitu *local technique* dan *remote technique*.

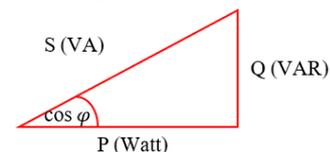
Remote technique merupakan metode *anti-islanding* yang memiliki keandalan yang tinggi dibandingkan dengan *Local technique*. Akan tetapi memiliki kelemahan membutuhkan biaya yang tinggi. *Local technique* mendeteksi *islanding* di sisi pembangkit melalui parameter tegangan, frekuensi, harmonisa, dan lain-lain. Metode *local technique* dibagi dalam 3 (tiga) jenis yaitu *passive*, *active* dan *hybrid*. Diantara ketiganya metode *active* yang paling akurat dan dapat menghasilkan nilai *non detection zone* (NDZ) yang kecil walaupun memiliki kelemahan karena membutuhkan proses yang cukup lama[10].

E. Beban

Beban adalah tujuan penyaluran daya listrik dari sumber. Beban pada sistem DC disimbolkan “R” dan pada sistem AC “Z”. Sifat beban dengan sumber tegangan AC dapat berupa beban induktif (L) atau beban kapasitif (C).

Beban induktif adalah kondisi dimana tegangan mendahului arus dengan pergeseran fasa sebesar 90° (*lagging*) sedangkan beban kapasitif terjadi saat tegangan tertinggal dari arus dengan pergeseran fasa 90° (*leading*).

Beban juga tidak jauh dengan faktor daya jika nilai $\cos \varphi < 0,85$ maka beban bersifat induktif. Dan jika $\cos \varphi = 1$ maka bersifat resistif. Gambar 3 memperlihatkan hubungan segitiga daya antara S, Q dan P.



Gambar 3. Segitiga daya

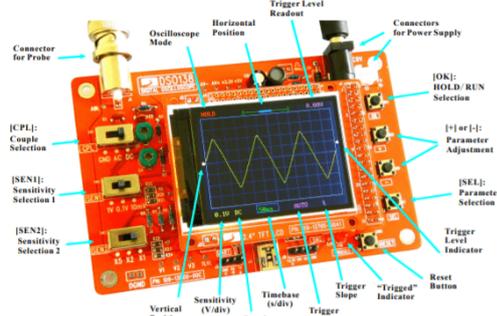
$$\begin{aligned} P &= Vx \ i \ x \ \cos \varphi \ x \ \sqrt{3} \\ Q &= Vx \ i \ x \ \sin \varphi \ x \ \sqrt{3} \\ S &= Vx \ i \ x \ \sqrt{3} \end{aligned}$$

- Keterangan:
- V = tegangan (volt)
 - I = arus (A)
 - P = daya (watt)

F. *Osiloskop DSO-138*

Osiloskop adalah alat ukur yang digunakan untuk memproyeksikan sinyal listrik agar dapat dilihat bentuknya dan diukur. Osiloskop menampilkan amplitudo sinyal, lebar pulsa, periode, distorsi dan lain-lainnya. Pada penelitian kali ini menggunakan osiloskop type DSO 138 seperti pada gambar 4.

Display and Controls



Gambar 4. Osiloskop DSO 138

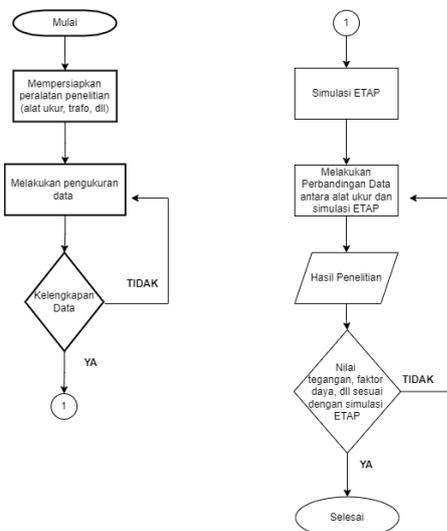
Berikut adalah daftar spesifikasi Osiloskop type DSO 138 (tabel 3):

Tabel 3. Spesifikasi Osiloskop

Parameter	Spesifikasi
Max realtime sample rate	1 Msa / s
Analog bandwidth	0 – 200 KHz
Sensitivity range	10 mV/div – 5 V/div
Max input voltage	50 Vpk (1X probe)
Input impedance	1 MΩ / 20 pF
Resolution	12 bits
Record length	1024 points
Timebase range	500 s/div – 10 us/div
Triger Mode	Auto, Normal, Single
Power supply	9V DC (8 – 12 V)
Current consumption	120 mA
Dimension	117 x 76 x 15 mm
Weight	70 gram (tanpa probe)

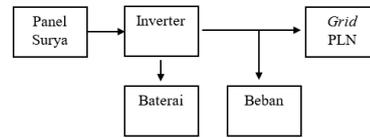
III. METODE

Pada penelitian ini analisa menggunakan 2 metode yaitu dengan alat ukur osiloskop DSO 138 dan software ETAP.



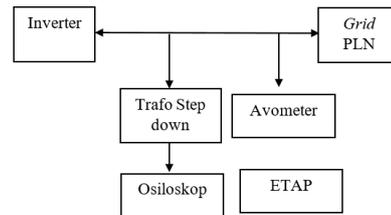
Gambar 5. Flowchart penelitian

Flowchart penelitian pada gambar 5 diatas terbagi atas dua bagian. Pertama untuk persiapan simulasi *hardware* dan kedua simulasi dari sisi *software* (ETAP). Kemudian untuk diagram blok tahap pengujiannya yaitu (gambar 6):



Gambar 6. Diagram blok

Pada tahap pengukuran akan dilakukan (gambar 7) :



Gambar 7. Diagram Pengukuran

Sehingga ada 4 pengujian yang akan dilakukan yaitu :

1. Pengujian saat kondisi normal (PLTS Off)
2. Pengujian saat kondisi PV on baterai off (PLTS aktif)
3. Pengujian saat kondisi PV on baterai on (PLTS aktif)
4. Pengujian system islanding.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

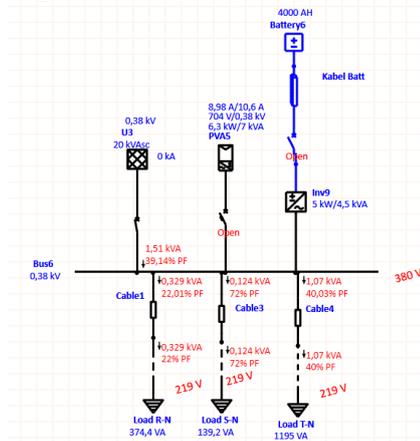
A. *Pengujian saat kondisi normal (PLTS off)*

Data pada tabel 4 dibawah ini digunakan sebagai acuan atau refrensi ketika sinkronisasi.

Tabel 4. Data parameter

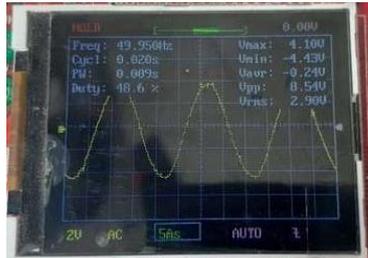
Fase	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	Arus (Amp)	Faktor daya
R-N	227,8	49,95	1,6	0,228
S-N	230	50,05	0,6	0,72
T-N	232,9	50,05	5	0,45

Nilai THD (total harmonic distorsi) dapat dilihat saat simulasi dengan ETAP seperti pada gambar 8 dibawah ini.



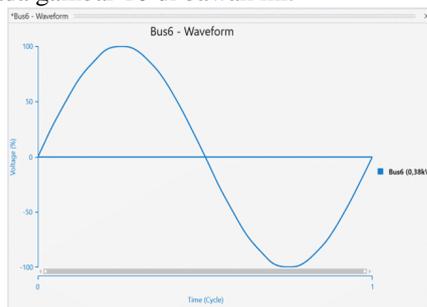
Gambar 8. Simulasi aliran daya dengan ETAP

Kemudian diukur menggunakan osiloskop maka bentuk gelombangnya sinusoidalnya seperti pada gambar 9 akan dibawah ini.



Gambar 9. Gelombang ketika kondisi normal

Jika pengukuran gelombang disimulasikan dengan ETAP maka bentuknya juga tidak jauh dengan alat ukur osiloskop seperti pada gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Gelombang simulasi ETAP

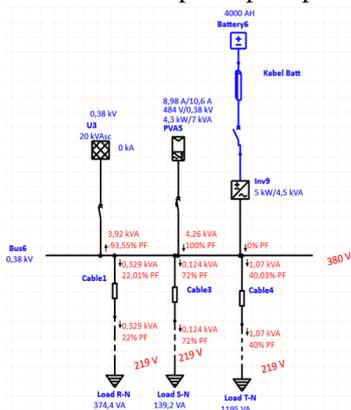
Kemudian tabel 5 menunjukkan data ketika PV on pada tiap fasenya terhadap parameter tegangan, frekuensi, arus dan faktor daya.

Tabel 5. Data ketika PV on

Fase	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	Arus (Amp)	Faktor daya
R-N	232,1	50,02	5,4	0,9
S-N	231,5	50,01	5,4	0,92
T-N	232,3	50,01	5,4	0,93

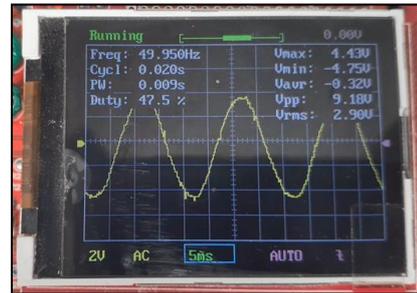
B. Pengujian saat kondisi PV on baterai off (PLTS aktif)

Data dibawah ini diambil ketika panel surya sudah aktif dan masuk ke sistem inverter sehingga daya aktifnya semakin naik. Dan aliran dayanya jika disimulasikan dengan ETAP maka akan tampak seperti pada gambar 11.



Gambar 1. Aliran daya ketika PLTS aktif

Dapat dilihat aliran daya aktif semakin naik dengan mengikuti cuaca yang ada. Bentuk gelombangnya juga tidak berubah seperti pada gambar 12.



Gambar 12. Gelombang ketika kondisi PLTS aktif

Sehingga saat kondisi PLTS sudah sinkron dengan PLN maka tidak menimbulkan gangguan.

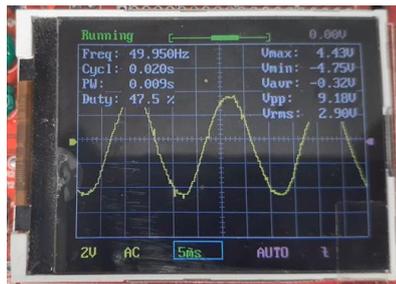
C. Pengujian Pengujian saat kondisi PV on baterai on (PLTS aktif)

Ketika baterai sudah aktif, maka akan dilakukan sinkronisasi lagi dalam sistem inverter. Namun dalam kondisi ini cara kerjanya hampir sama dengan sinkron ketika bagian PV aktif. Sehingga data yang hasilkan pun tidak terlalu banyak perubahan, seperti yang terlihat pada tabel 6.

Tabel 6. Data ketika baterai aktif

Fase	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	Arus (Amp)	Faktor daya
R-N	232,1	50,02	5,4	0,9
S-N	231,5	50,01	5,4	0,92
T-N	232,3	50,01	5,4	0,93

Dan bentuk gelombangnya pun tidak ada pergeseran maupun gelombang harmonic yang terdistorsi seperti pada gambar 13.



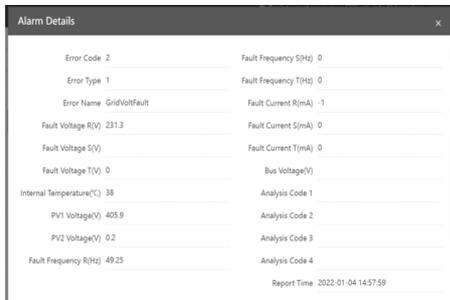
Gambar 13. Bentuk gelombang saat baterai aktif

D. Pengujian system islanding

Setelah diketahui hasil dari sinkronisasi PLTS dalam keadaan normal maka, hal yang perlu diuji selanjutnya adalah kondisi ketika terjadi *islanding* dan bagaimana mengatasinya (*anti islanding*). Karena hal ini sangatlah penting untuk inverter yang terhubung dengan *grid* supaya ketika proses sinkron gagal atau listrik dari *grid* padam, inverter tidak akan menyalurkan listrik ke jaringan dengan proteksi *anti islanding*. Ada beberapa kondisi yang dapat menyebabkan *islanding* yaitu *grid volt fault*, *grid frequency fault*, dan pemadaman jaringan refrensi.

1. Grid volt fault

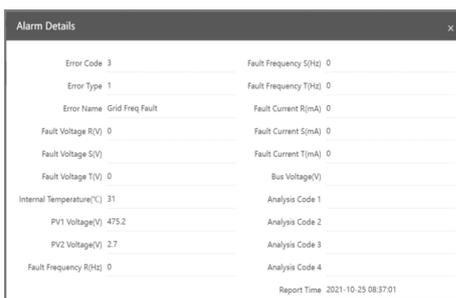
Kondisi ini akan mendeteksi dari input jaringan PLN, jika tegangan melebihi dari range inverter maka system akan memberikan alarm. Pada penelitian kali ini mengambil 1 studi case ketika terjadi under voltage. Sehingga inverter menjadi gagal sinkron (gambar 14).



Gambar 4. Alarm pada grid volt fault

2. Grid frequency fault

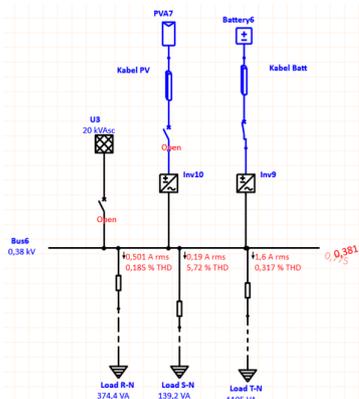
Salah satu syarat sinkron adalah dengan menyamakan frekuensi. Sehingga jika frekuensi tidak sama maka inverter akan memunculkan alarm kesalahan frekuensi. Dibawah ini merupakan salah satu gambar kegagalan frekuensi (gambar 15).



Gambar 5. Alarm pada grid frequency fault

3. Islanding system

Kemudian penyebab terakhir adalah ketika jaringan PLN padam maka inverter tidak diperbolehkan mengalirkan daya dengan kata lain harus mempunyai proteksi islanding. Karena jika hal ini dibiarkan dapat menyebabkan inverter menjadi overload dan akhirnya rusak juga disini keamanan dapat menyebabkan orang yang sedang memperbaiki jaringan PLN dapat tersengat aliran listrik.



Gambar 16. Simulasi aliran daya EPS

Oleh karena itu pada system hybrid ini terpasang EPS port (*emergency power safe*) yang berfungsi ketika listrik padam aliran energi masih bisa tersalurkan dengan syarat beban ketika emergency dan beban ketika normal harus dipisah. Selain itu durasi beban emergency dapat hidup sesuai kapasitas baterai. Gambar 16 adalah simulasi aliran daya pada EPS. Dan untuk metode *islanding* nya yaitu dengan metode pasif.

V. KESIMPULAN

Ketika pengujian saat normal didapat nilai tegangan, frekuensi, *duty cycle*, bentuk gelombang dan $\cos \phi$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis bebannya induktif dan jika dilihat dari bentuk gelombang saat jaringan PLN menyalurkan energi maka sistem stabil. Sehingga dapat diketahui daya aktifnya sebesar 652,16 Watt dan daya semu menjadi 1,51 kVA. Pada pengujian kedua didapat bahwa nilai tegangan naik menjadi 1 volt per fase, hal ini berfungsi supaya daya dari PLTS menjadi sumber utama. Selain itu daya aktif menjadi 3,67 dan daya semu menjadi 3,92.

Pada pengujian ketiga baterai di hidupkan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun ada beberapa parameter yang turun yaitu nilai frekuensi 50,05 Hz menjadi 49,95 Hz. Ukuran tersebut masih dalam batas standar.

Pada pengujian terakhir diambil kasus pada saat gagal sinkron terdapat nilai fase yang belum terdeteksi yaitu fase S dan T. Pada fase R terukur 231,3 volt, fase S tidak diketahui, dan fase T terukur 0 volt. Maka sistem *anti islanding* akan bekerja yaitu dengan memutus dari *grid* sehingga mode inverter menjadi *wait* mode (proteksi inverter bekerja dengan baik). Dapat bahwa proteksi *anti islanding* inverter X3 hybrid Solax dapat bekerja dengan baik.

REFERENSI

- [1] R. R. Rohman, "Analisis Kelayakan Pada Sistem Kelistrikan Pertamina Cepu Akibat Penambahan Plts 1 Mw," 2018.
- [2] I. J. Mansyur, "Studi Komparatif 2 Model Pembangkit Listrik Sistem Hybrid PLTS Dan PLN / Genset," 2012.
- [3] I. U. vistalina Simanjuntak, H. Heryanto, Y. Rahmawaty, dan T. Manurung, "Performance Analysis of VRLA Battery for DC Load at Telecommunication Base Station," *Elkha*, vol. 13, no. 2, hal. 148, 2021, doi: 10.26418/elkha.v13i2.49202.
- [4] B. V Rajanna dan K. S. Srikanth, "Grid Connected Inverter for Current Control by Using Anti-Islanding Technique," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 9, no. 2, hal. 926, 2018, doi: 10.11591/ijpeds.v9.i2.pp926-932.
- [5] A. Y. Hatata, E. H. Abd-Raboh, dan B. E. Sedhom, "Proposed Sandia frequency shift for anti-islanding detection method based on artificial immune system," *Alexandria Eng. J.*, vol. 57, no. 1, hal. 235–245, 2018, doi: 10.1016/j.aej.2016.12.020.
- [6] D. U. Kim dan S. Kim, "Anti-Islanding Detection Method Using Phase-Shifted Feed-Forward Voltage in Grid-Connected Inverter," *IEEE Access*, vol. 7, hal. 147179–147190, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2946317.
- [7] M. Dietmannsberger, F. Grumm, dan D. Schulz, "Simultaneous Implementation of LVRT Capability and Anti-Islanding Detection in Three-Phase Inverters Connected to Low-Voltage Grids," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 32, no. 2, hal. 505–515, 2017, doi: 10.1109/TEC.2017.2662059.
- [8] D. Motter dan J. C. De Melo Vieira, "The setting map methodology for adjusting the DG anti-islanding protection considering multiple events," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol.

- 33, no. 6, hal. 2755–2764, 2018, doi: 10.1109/TPWRD.2018.2816400.
- [9] H. R. Baghaee, D. Mlakic, S. Nikolovski, dan T. Dragicevic, “Anti-Islanding Protection of PV-Based Microgrids Consisting of PHEVs Using SVMs,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 11, no. 1, hal. 483–500, 2020, doi: 10.1109/TSG.2019.2924290.
- [10] G. I. Jabbar, “Deteksi Islanding Pasif Berdasarkan Pelacakan Perubahan Impedansi Yang Bergantung Frekuensi Untuk Sistem Photovoltaic Terhubung Ke Jala-Jala,” 2017.
- [11] M. Yasin, F. A. Samman, dan R. S. Sadjad, “Desain dan Analisis Inverter Tiga Fasa untuk Aplikasi Sistem PLTS Terhubung Grid PLN sebagai Referensi,” *J. Penelit. Enj.*, vol. 21, no. 2, hal. 66–72, 2018, doi: 10.25042/jpe.112017.10.
- [12] B. Sujanarko, “Metode Sinkronisasi Inverter Satu Fase Dengan Jaringan Listrik Yang Terdistorsi,” *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 8, no. 1, hal. 49, 2010, doi: 10.12928/telkomnika.v8i1.604.
- [13] P. K. B. Sutawan, I. N. S. Kumara, dan W. G. Ariastina, “Simulasi Sistem Kontrol Operasi on Grid Serta Islanding Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 14, no. 2, hal. 57, 2015, doi: 10.24843/mite.2015.v14i02p11.