



UNIVERSITAS INDONESIA

ANALISIS KARAKTERISTIK GRID-TIE INVERTER

SKRIPSI

RONY WIJAYA
0606029473

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

ANALISIS KARAKTERISTIK GRID-TIE INVERTER

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

RONY WIJAYA
0606029473

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JUNI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Rony Wijaya

NPM : 0606029473

Tanda Tangan :



Tanggal : 13 juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rony Wijaya
NPM : 0606029473
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Karakteristik Grid-Tie Inverter

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Eko Adhi Setiawan, ST., MT ()

Penguji I : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA. ()

Penguji II : Ir. I Made Ardita Y M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2012

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji milik Allah atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Dr.-Ing. Eko Adhi Setiawan, ST., MT. sebagai dosen pembimbing, yang telah memberikan waktu, petunjuk, saran dan bimbingannya kepada penulis.
2. Orang tua yang telah memberi semangat kepada penulis.
3. Rekan-rekan dari Teknik Elektro yang telah turut serta membantu penulis.
4. Dan pihak lain yang tidak disebutkan, yang juga turut membantu penulis dalam menyelesaikan laporan ini.

Penulis meminta maaf yang sebesar-besarnya bila kesalahan atau kekurangan di dalam laporan ini. Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini jauh dari kesempurnaan, sehingga saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan. Penulis juga mengharapkan laporan ini dapat berguna untuk semua pembaca. Sebagai penutup, penulis berharap agar Allah *Ta'ala* berkenan membalas atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Jakarta, 13 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rony Wijaya
NPM : 0606029473
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Karakteristik Grid-Tie Inverter

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 13 Juni 2012
Yang menyatakan



(Rony Wijaya)

ABSTRAK

Nama : Rony Wijaya
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Karakteristik Grid-Tie Inverter

Inverter adalah sebuah piranti yang berfungsi untuk mengubah sumber arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Pada Sumber Listrik Tenaga Surya, inverter dapat digunakan untuk mengubah sumber arus DC dari sel surya menjadi arus AC dan mensinkronkan fasa arus AC tersebut dengan fasa arus AC dari PLN. *Inverter* jenis tersebut dinamakan *grid-tie inverter* (GTI). Pada sebuah GTI, terdapat beberapa komponen yang berfungsi sebagai *DC-DC converter*, MPPT, dan *inverter* itu sendiri. Pada skripsi ini telah diteliti karakteristik *output* GTI dari berbagai macam konfigurasi. Pengujian GTI dilakukan dengan cara menghubungkan GTI dengan simulator sel surya dan sistem grid dari PLN. GTI yang diuji coba adalah GTI yang mempunyai kapasitas 500W dan 1000W yang dipasang secara tunggal dan paralel.

Kata Kunci : grid-tie inverter, efisiensi, tunggal, paralel

ABSTRACT

Name : Rony Wijaya
Study program : Electrical Engineering
Title : Grid-Tie Inverter Characteristics Analisis

Inverter is a device to convert electricity from direct current (DC) into alternating current (AC). In the solar power plant application, inverter can be used to convert DC current from the solar cells into AC current and at the same time synchronizes the AC current to the phase of the national grid. This type of inverter is called a grid-tie inverter (GTI). On a GTI, there are several components that serve as a DC-DC converter, MPPT and the inverter itself. In this thesis, the output characteristics from a variety of configuration of GTI are measured. GTI is powered by solar cell simulator and connected to national grid. GTI which has capacity 500W and 1000W are set in single and parallel configuration.

Keywords : grid-tie inverter, efficiency, single, parallel

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Metodologi.....	2
1.5 Sistematika Skripsi	3
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	4
2.1 <i>Inverter</i> dan Prinsip Kerjanya.....	4
2.2 Jenis <i>Inverter</i> Berdasarkan Gelombang yang Dihasilkan.....	5
2.2.1 <i>Square Wave</i>	5
2.2.2 Modified Sine Wave.....	6
2.2.3 Pure Sine Wave.....	6
2.3 Grid Tie Inverter	7
2.3.1 Konfigurasi Paralel <i>Grid Tie Inverter</i>	8
2.3.2 Skematik atau Topologi Rangkaian <i>Grid Tie Inverter</i>	9
2.3.3 Sinkronisasi Tegangan <i>Inverter</i> GTI Dengan Tegangan <i>Grid</i> [3].....	10
2.3.4 Maximum Power Point Tracking (MPPT) [7].....	10
2.3.5 Anti Islanding.....	14
2.4 Power Factor.....	15
2.4.1 Pengaruh <i>Grid Tie Inverter</i> terhadap <i>Power Factor</i> Utilitas[8]	16
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Objek Penelitian.....	19
3.2 Instrumen Penelitian	19
3.3 Prosedur Pengambilan Data.....	23
3.4 Skenario Pengujian	26
BAB 4 HASIL DATA PENGUJIAN DAN ANALISIS	29
4.1 Detail Pengujian.....	29
4.2 Hasil Pengujian.....	30
4.2.1 Hasil Pengujian GTI 500 W Tunggal	30
4.2.2 Hasil Pengujian GTI 1000 W tunggal	32
4.2.3 Pengujian GTI 1000 W dengan 500 W paralel.....	34
4.2.4 Pengujian Dua Buah GTI 500 W Paralel.....	37
4.3 Perbandingan Efisiensi	40
4.3.1 Perbandingan Efisiensi GTI 500W dengan GTI 1000W	40
4.3.2 Perbandingan Efisiensi GTI 1000 W dan 2 buah GTI 500 W paralel.....	41

4.4	Analisis Kelebihan dan Kekurangan Konfigurasi Tunggal dan Paralel	41
4.5	Analisis MPPT dan Kondisi Tidak Stabil.....	42
BAB 5 KESIMPULAN.....		43
DAFTAR REFERENSI		44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja <i>Inverter</i> 1 Phasa	4
Gambar 2.2 Bentuk gelombang tegangan	5
Gambar 2.3 <i>Output Inverter</i> Jenis Square Wave	6
Gambar 2.4 <i>Output Inverter</i> Jenis Modifie Sine Wave.....	6
Gambar 2.5 PWM untuk menyempurnakan bentuk sinusoidal	7
Gambar 2.6 Konfigurasi dua buah GTI 500W dan satu GTI 1000W	8
Gambar 2.7 Rangkaian <i>Grid Tie Inverter</i>	9
Gambar 2.8 Titik dimana daya maksimum dihasilkan.....	10
Gambar 2.9 Algoritma dan blok diagram sistem kerja MPPT	11
Gambar 2.10 Algoritma MPPT metode P&O	13
Gambar 2.11 Gambar Segitiga Daya.....	15
Gambar 2.12 Sistem sebelum ditambahkan GTI.....	17
Gambar 2.13 Sistem setelah ditambahkan GTI.....	17
Gambar 3.1 Programmable Power Supply	19
Gambar 3.2 NI-DAQ 6008	20
Gambar 3.3 Grid Tie Inverter Merek Yitai	21
Gambar 3.4 Multimeter GW INSTEK GDM-356.....	21
Gambar 3.5 Tang Ampere KYORITSU	22
Gambar 3.6 Variac	22
Gambar 3.7 Susunan rangkaian pengujian	23
Gambar 3.8 Prosedur pengambilan data.....	24
Gambar 3.9 Rangkaian GTI 500 W tunggal.....	26
Gambar 3.10 Rangkaian GTI 1000 W tunggal.....	27
Gambar 3.11 Rangkaian paralel GTI 1000 W dengan 500 W	27
Gambar 3.12 Rangkaian paralel GTI 500 W dengan 500 W	28
Gambar 4.1 Grafik Arus <i>input</i> GTI 500 W tunggal	31
Gambar 4.2 Efisiensi GTI 500 W tunggal.....	31
Gambar 4.3 Grafik Arus <i>input</i> GTI 1000 W tunggal	33
Gambar 4.4 Efisiensi GTI 1000 W tunggal.....	33
Gambar 4.5 Grafik Arus <i>input</i> GTI 1000 W dengan 500 W paralel	34
Gambar 4.6 Efisiensi GTI 500 W + 1000 W paralel.....	36
Gambar 4.7 Grafik Arus <i>input</i> 2 buah GTI 500 W paralel.....	38
Gambar 4.8 Efisiensi dua buah GTI 500 W paralel	39
Gambar 4.9 Perbandingan Efisiensi antara GTI 500W dan GTI 1000W.....	40
Gambar 4.10 Perbandingan Efisiensi GTI 1000 W tunggal dengan 2 buah GTI 500 W paralel	41

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengujian GTI 500 W Tunggal	30
Tabel 4.2 Hasil Pengujian GTI 1000 W Tunggal	32
Tabel 4.3 Hasil Pengujian GTI 1000 W dengan 500 W paralel.....	34
Tabel 4.4 Perhitungan Efisiensi GTI 1000 W dan 500W paralel	36
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Dua GTI 500 W Paralel.....	37
Tabel 4.6 Perhitungan Efisiensi dua buah GTI 500W paralel	39



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah salah satu komoditas penting dunia. Tanpa sumber daya energi, sebuah negara tidak bisa menjalankan aktivitas perekonomiannya. Tidak heran beberapa negara besar sangat antusias untuk menguasai sumber energi utama dunia. Sayangnya, sumber energi utama yang dimaksud masih berupa bahan bakar fosil.

Bahan bakar fosil saat ini masih merupakan kebutuhan terbesar untuk menghasilkan energi. Kelemahan utamanya adalah ketersediannya yang terbatas dan harganya yang terus melonjak naik. Mungkin tidak dalam waktu dekat sumber energi ini akan habis, tapi tetap bahan bakar fosil tidak dapat diandalkan selamanya. Dunia mulai beralih ke bahan bakar alternatif yang bisa diperbaharukan.

Sumber energi terbarukan dapat berupa tenaga angin, tenaga air, dan tenaga surya. Yang paling potensial dari sumber energi tersebut adalah energi dari surya. Dalam satu jam saja, energi matahari yang diterima oleh bumi lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan energi dunia selama setahun penuh. Energi matahari ini dimanfaatkan bumi untuk fotosintesis, menaikkan suhu bumi, memicu pergerakan angin dan siklus air. Bisa disimpulkan energi surya inilah yang menghasilkan bahan bakar fosil, tenaga angin, dan tenaga air.

Seharusnya memang energi surya ini yang dimanfaatkan lebih banyak daripada sumber energi lainnya. Energi surya bisa dimanfaatkan secara langsung menjadi listrik dengan solar cell dan bisa menggantikan peran bahan bakar fosil untuk mensuplai kebutuhan listrik dunia. Solar cell tidak bekerja sendiri untuk menghasilkan listrik dan kemudian mendistribusikan listrik ke grid. Salah satu komponen penting agar *solar cell* bermanfaat adalah *inverter*.

Inverter merupakan alat yang digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC). *Inverter* tidak hanya untuk *solar cell* saja, tapi juga digunakan pada sumber *renewable energy* lainnya yaitu *wind turbine*. *Inverter* dibutuhkan karena listrik yang dihasilkan dari *solar cell* dan *wind turbine* adalah

listrik arus searah (DC). Sedangkan grid listrik untuk yang bekerja pada jaringan listrik di seluruh dunia saat ini adalah listrik arus bolak-balik (AC). Oleh karena itu, untuk dapat memenuhi kebutuhan konsumen, *inverter* sangat dibutuhkan.

Pada pemakaian solar cell di rumah, peran inverter tidak cukup hanya memenuhi kebutuhan listrik pada satu rumah itu saja. Inverter dituntut untuk bisa melakukan mengkombinasikan listrik dari sumber listrik negara dan dari energi surya solar cell. Bahkan bila suplai listrik dari solar cell lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan rumah itu, inverter harus bisa mensuplai listrik yang berlebih ini ke PLN. *Inverter* jenis ini disebut *grid-tie inverter*. Sedangkan konsep rumah yang menerapkan kombinasi *renewable energy* dan listrik negara secara cerdas ini disebut konsep *smart house*.

Karena *Grid Tie Inverter* ini memiliki banyak perbedaan dan tentunya banyak keunggulan dibandingkan *inverter* biasa, penulis ingin melakukan beberapa pengujian pada *inverter* jenis ini. Diharapkan hasil dari pengujian dengan beberapa kondisi dapat membantu memahami karakteristik *grid tie inverter*.

1.2 Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah untuk mendapatkan nilai efisiensi grid tie inverter pada beberapa konfigurasi dan membandingkan nilai efisiensinya.

1.3 Ruang Lingkup

Pada skripsi ini permasalahan dibatasi menjadi:

1. Pengujian grid tie inverter dalam batas-batas arus dan tegangan yang diijinkan pada inverter.
2. Inverter diuji dalam kondisi terhubung dengan grid.
3. Parameter yang diukur adalah arus masukan dan arus keluaran dari berbagai macam konfigurasi.

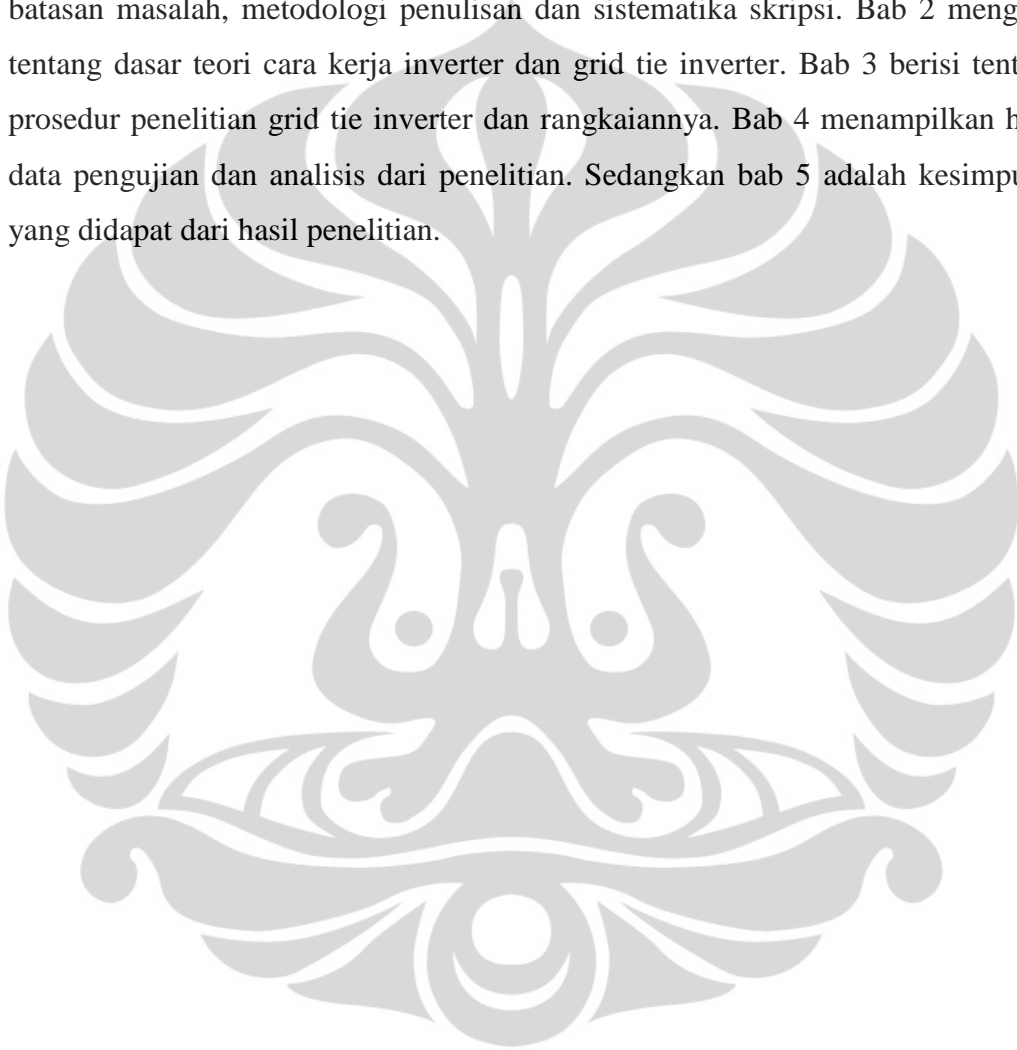
1.4 Metodologi

Skripsi ini menggunakan metode pengukuran untuk memperoleh nilai daya dan efisiensi pada semua konfigurasi grid tie inverter. Pengukuran yang dilakukan

adalah pengukuran besaran arus dan tegangan, sehingga nilai daya yang didapatkan adalah hasil pengukuran tidak langsung.

1.5 Sistematika Skripsi

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi 5 (lima) bab. Bab 1 merupakan pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika skripsi. Bab 2 mengkaji tentang dasar teori cara kerja inverter dan grid tie inverter. Bab 3 berisi tentang prosedur penelitian grid tie inverter dan rangkaiannya. Bab 4 menampilkan hasil data pengujian dan analisis dari penelitian. Sedangkan bab 5 adalah kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian.

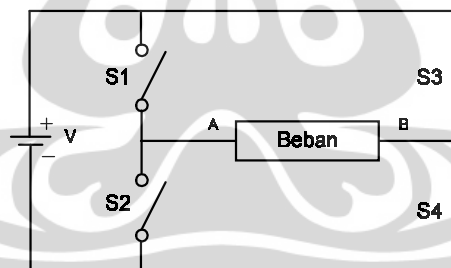


BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 *Inverter* dan Prinsip Kerjanya

Inverter merupakan alat yang digunakan untuk mengubah arus searah menjadi arus bolak balik. Sumber tegangan *inverter* dapat berupa *battery*, *solar panel*, *wind turbine* dan sumber tegangan DC lainnya. Sedangkan keluaran dari *inverter* adalah tegangan AC 120 V atau 220 V, dan frekuensi *output* 50 Hz atau 60 Hz.[1]

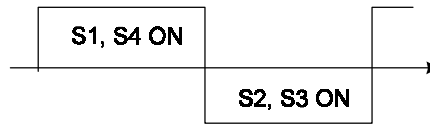
Pada dasarnya *inverter* merupakan sebuah alat yang membuat tegangan bolak balik dari tegangan searah dengan cara pembentukan gelombang tegangan. Namun gelombang tegangan yang terbentuk dari *inverter* tidak berbentuk sinusoida melainkan berbentuk gelombang tegangan persegi. Pembentukan tegangan AC tersebut dilakukan dengan menggunakan dua pasang saklar. Berikut ini merupakan gambar yang akan menerangkan prinsip kerja *inverter* dalam pembentukan gelombang tegangan persegi.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja *Inverter* 1 Phasa [2]

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa untuk menghasilkan arus bolak balik maka kerja saklar S1 sampai S4 yang disuplai oleh tegangan DC harus bergantian. Lalu bagaimanakah gelombang tegangan tersebut dapat terbentuk dari keempat buah saklar tersebut? Ketika saklar S1 dan S4 hidup maka arus akan mengalir dari titik A ke titik B sehingga terbentuklah tegangan positif. Setelah itu gantian saklar S2 dan S3 yang hidup dan saklar S1 dan S4 *off* sehingga arus akan mengalir dari titik B ke titik A sehingga terbentuklah tegangan negatif.

Pembentukan gelombang hasil ON-OFF keempat saklar tersebut dapat dilihat dari gambar berikut:



Gambar 2.2 Bentuk gelombang tegangan [2]

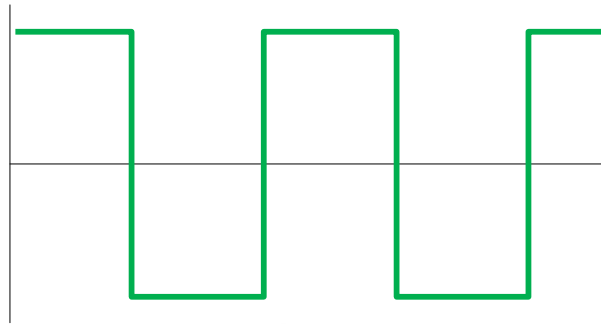
Dengan mengubah arah arus yang mengalir ke beban (pada $\frac{1}{2}$ periode pertama arus mengalir dari titik A ke B dan pada $\frac{1}{2}$ periode kedua arus mengalir dari B ke A) maka akan didapatkan bentuk gelombang arus bolak balik. Lalu bagaimanakah *inverter* dapat mengatur frekuensi *outputnya*? *Inverter* mengatur frekuensi *outputnya* dengan cara mengatur waktu ON-OFF saklar-saklarnya. Sebagai contoh apabila S1 dan S4 ON selama 0,5 detik begitu juga dengan S2 dan S3 secara berganti-gantian maka akan dihasilkan gelombang bolak-balik dengan frekuensi 1 Hz. Pada dasarnya saklar S1 – S4 dan S2 – S3 dihidupkan dengan jangka waktu yang sama. Jadi apabila dalam satu periode $T_o = 1$ detik, maka S1 – S4 ON selama 0,5 detik dan S2 – S3 ON selama 0,5 detik dan didapatkan frekuensi sebesar 1 Hz.

2.2 Jenis *Inverter* Berdasarkan Gelombang yang Dihasilkan

Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan, *inverter* dapat dibagi menjadi tiga macam yakni *square wave*, *modified sine wave*, *pure sine wave*.

2.2.1 *Square Wave*

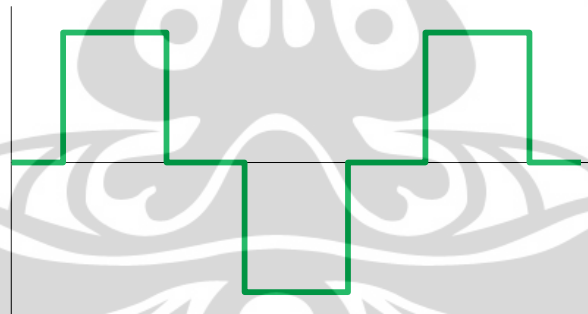
Inverter ini adalah yang paling sederhana. Walaupun *inverter* jenis ini dapat menghasilkan tegangan 220 VAC, 50 Hz namun kualitasnya sangat buruk. Sehingga hanya dapat digunakan pada beberapa alat listrik. Hal ini disebabkan karakteristik *output* yang dimiliki *inverter* jenis ini adalah mereka memiliki level “*total harmonic distortion*” yang tinggi. Mungkin karena alasan tersebut *inverter* ini biasa disebut “*dirty power supply*”.



Gambar 2.3 Output Inverter Jenis Square Wave [3]

2.2.2 Modified Sine Wave

Modified Sine Wave disebut juga “*Modified Square Wave*” atau “*Quasy Sine Wave*” karena gelombang *modified sine wave* hampir mirip dengan *square wave*, namun pada *modified sine wave* outputnya menyentuh titik nol selama beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu karena *modified sine wave* ini memiliki *harmonic distortion* yang lebih sedikit dibanding *square wave* maka dapat dipakai untuk mengoperasikan beberapa peralatan listrik seperti komputer, TV, lampu namun tidak bisa untuk beban-beban yang lebih sensitif.

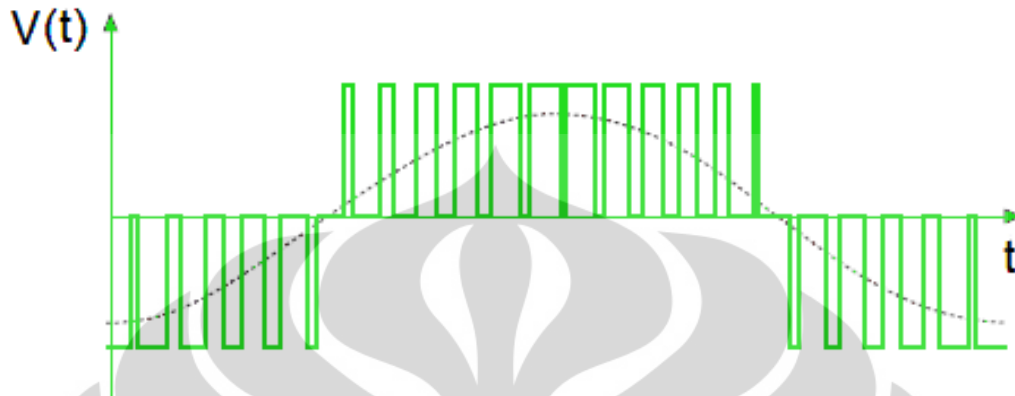


Gambar 2.4 Output Inverter Jenis Modifie Sine Wave[3]

2.2.3 Pure Sine Wave

Pure sine wave atau *true sine wave* merupakan gelombang *inverter* yang hampir menyerupai (bahkan dapat lebih baik dibandingkan dengan gelombang sinusoidal sempurna pada jaringan listrik (dalam hal ini PLN) dengan *total harmonic distortion* (THD) $< 3\%$ sehingga cocok untuk semua peralatan elektronik. Oleh sebab itu *inverter* ini disebut juga “*clean supply*”. Teknologi yang digunakan *inverter* jenis ini umumnya disebut *pulse width modulation*

(PWM) yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang yang hampir menyerupai gelombang sinusoidal.[4]



Gambar 2.5 PWM untuk menyempurnakan bentuk sinusoidal [5]

Gelombang tipe *pure sine wave* ini juga digunakan oleh *grid tie inverter*. Oleh sebab itu banyak orang yang mengira bahwa *pure sine wave inverter* adalah *grid tie inverter* meskipun hal ini tidak sepenuhnya benar.

2.3 Grid Tie Inverter

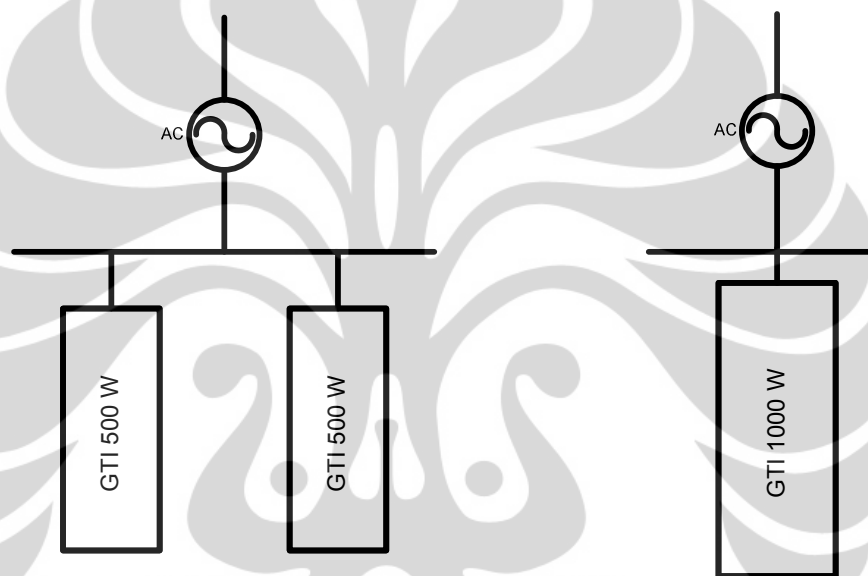
Grid tie inverter merupakan sebuah tipe khusus dari *inverter* yang mampu mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC) dan menyalurkannya ke jaringan listrik utilitas (PLN di Indonesia). *Inverter* tipe ini disebut juga dengan *synchronous inverter* atau *grid-interactive inverter*. Lalu apakah yang membuat *inverter* ini spesial? Selain karena harganya yang tentu saja mahal, *inverter* ini memiliki dua fitur yang handal dan penting, yakni kemampuannya dalam mencocokkan atau mensinkronisasi tegangan AC atau disebut juga “*phase matching*” serta proteksi terhadap gangguan pada *grid* atau “*reaction to power outage*”.

Desain *inverter* jenis ini pun sedikit berbeda dengan *inverter* jenis biasa atau *stand alone*. Tegangan *output* dari *inverter* GTI harus memenuhi beberapa persyaratan agar *inverter* dapat terhubung dengan jaringan listrik PLN (tersinkronisasi) dan mengirimkan daya ke *grid* tersebut. Beberapa persyaratan tersebut antara lain adalah:

- 1) Tegangan dan fasa *inverter* harus sama dengan yang dimiliki *grid*.
- 2) Frekuensi dari tegangan yang dihasilkan haruslah sama dengan frekuensi *grid*, (50Hz untuk Indonesia).

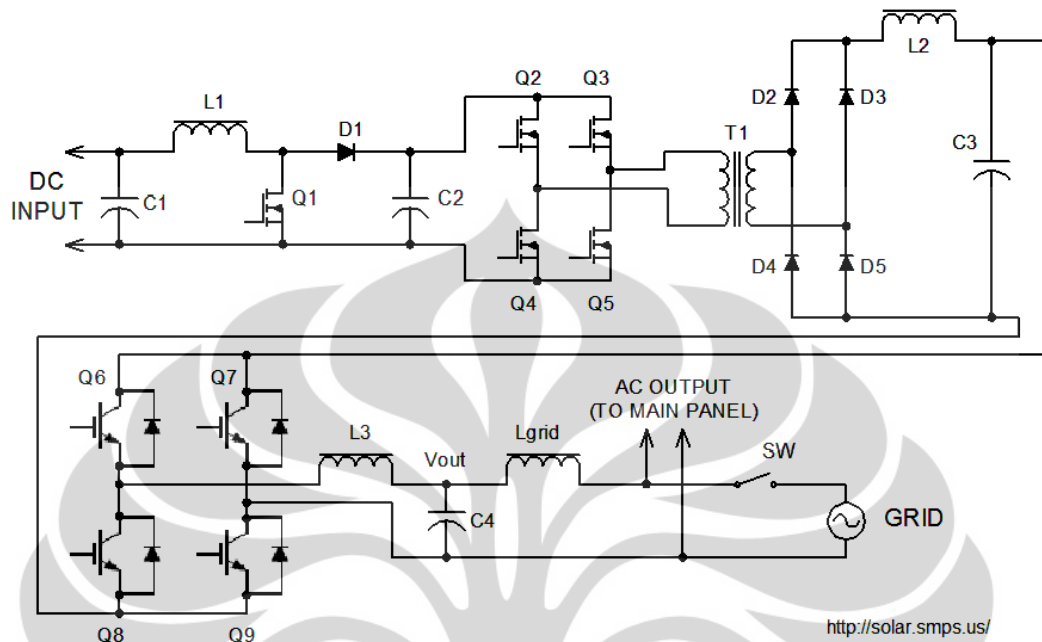
2.3.1 Konfigurasi Paralel *Grid Tie Inverter*

Grid tie inverter dapat digabungkan secara paralel untuk mendapatkan kinerja yang lebih besar. Satu buah GTI dengan kapasitas 1000 Watt dapat digantikan oleh dua buah GTI 500 Watt yang digabung secara paralel.[6]



Gambar 2.6 Konfigurasi dua buah GTI 500W dan satu GTI 1000W

2.3.2 Skematik atau Topologi Rangkaian *Grid Tie Inverter*



Gambar 2.7 Rangkaian *Grid Tie Inverter* [6]

Dari gambar 2.7 di atas dapat dijelaskan bahwa *input grid tie inverter* adalah tegangan DC yang kemudian diolah oleh boost converter. *Boost Converter* adalah konverter DC-DC untuk menaikkan tegangan. Pada gambar *boost converter* adalah satu blok rangkaian induktor L1, MOSFET Q1, dioda D1 dan kapasitor C2. Tegangan DC yang rendah dinaikkan menjadi tegangan tinggi sebelum dikonversi menjadi tegangan AC.

Tegangan DC yang telah dinaikkan akan dikonversi menjadi tegangan AC oleh *full bridge converter* yaitu Q2-Q5. Keluarannya adalah tegangan AC frekuensi tinggi.

Transformator T1 akan menaikkan tegangan *input* lagi. Karena sebelumnya tegangan masukan telah dinaikkan nilainya oleh *boost converter*, maka rasio trafo T1 tidak terlalu besar. Keluaran dari T1 ditujukan untuk mendapatkan tegangan yang lebih tinggi daripada tegangan efektif *grid*. Pada *grid* dengan tegangan 220VAC, tegangan keluaran trafo T1 bisa lebih dari 350V dan frekuensinya tinggi karena proses *switching* di *full bridge converter*.

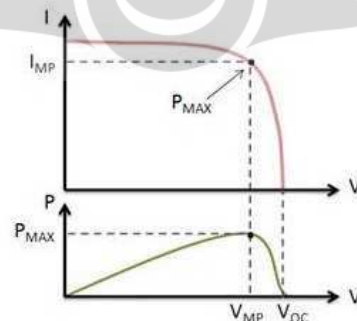
Proses berikutnya adalah konversi melalui PWM Q6-Q9 untuk dapat diperoleh tegangan keluaran *pure sine wave* dengan nilai tegangan sesuai dengan *grid*. LC filter kemudian mengurangi harmonisa tegangan tinggi hasil proses *switching*. Hasilnya adalah tegangan AC yang sesuai dengan kebutuhan *grid*.

2.3.3 Sinkronisasi Tegangan *Inverter* GTI Dengan Tegangan *Grid* [3]

Sinkronisasi adalah suatu cara untuk menghubungkan dua sumber atau beban Arus Bolak-Balik (AC). Sumber AC yang ingin dihubungkan disini adalah sumber *solar cell* yang diubah ke AC oleh *inverter* dan dari sumber dari *grid*. Pemanfaatan tegangan *solar cell* ataupun energi terbarukan lainnya yang terhubung dengan *grid* sudah lama dikembangkan. Namun dalam menghubungkan tegangan PV dalam hal ini tegangan *output inverter* ini tidaklah mudah. Untuk menghubungkan secara paralel antara tegangan PV dan tegangan *grid* maka karakteristik kedua tegangan haruslah mempunyai frekuensi, amplitude dan sudut fase yang sama. Beberapa metode telah banyak digunakan dalam beberapa produk *inverter* GTI telah digunakan dan beberapa metode telah banyak dikembangkan untuk menyempurnakan metode-metode sebelumnya.

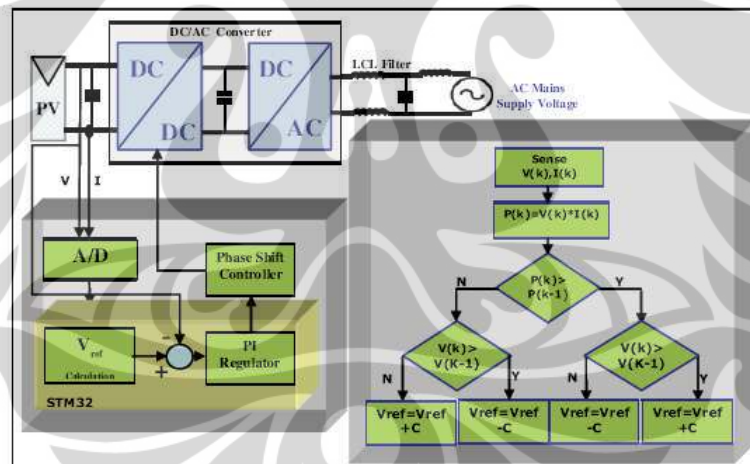
2.3.4 Maximum Power Point Tracking (MPPT) [7]

Permasalahan utama yang dihadapi penggunaan sel surya sebagai pembangkit tenaga listrik adalah radiasi sinar matahari yang disebut iradiasi (*solar energy* per unit area dari permukaan *solar panel*) dan kondisi lain seperti awan yang menutupi sinar matahari dan temperatur. Titik dimana daya maksimal dihasilkan disebut *maximum power point*.



Gambar 2.8 Titik dimana daya maksimum dihasilkan [7]

Pada kurva V-I maupun kurva V-P titik P-max adalah titik *maximum power point* (*MPP*) dimana pada titik tersebut *solar cell* bekerja pada efisiensi terbesar dan menghasilkan daya *output* maksimal. *Maximum power point tracking* (*MPPT*) adalah sebuah sistem yang membantu *solar cell* menghasilkan daya semaksimal mungkin dengan mengatur tegangan atau arus *solar cell* untuk mendapatkan daya maksimum yang dapat dihasilkan. Penggunaan *MPPT* meningkatkan efisiensi daya listrik yang dihasilkan sistem *solar cell*, karena sistem dikontrol untuk terus menghasilkan daya maksimal. Berbagai algoritma dapat digunakan untuk menghasilkan sistem *MPPT*. Sensor yang digunakan, algoritma kontrol serta kecepatan *MPPT* dalam menghasilkan daya maksimal merupakan faktor yang mempengaruhi dalam kehandalan teknik *MPPT* yang digunakan. Untuk mengetahui bagaimana sistem *MPPT* ini bekerja, *inverter* produk *Steval-ISV002V1 3 kW* kembali digunakan sebagai acuan. Gambar dibawah ini merupakan algoritma dan skematik kontrol dari sistem kerja *MPPT*.



Gambar 2.9 Algoritma dan blok diagram sistem kerja *MPPT* [7]

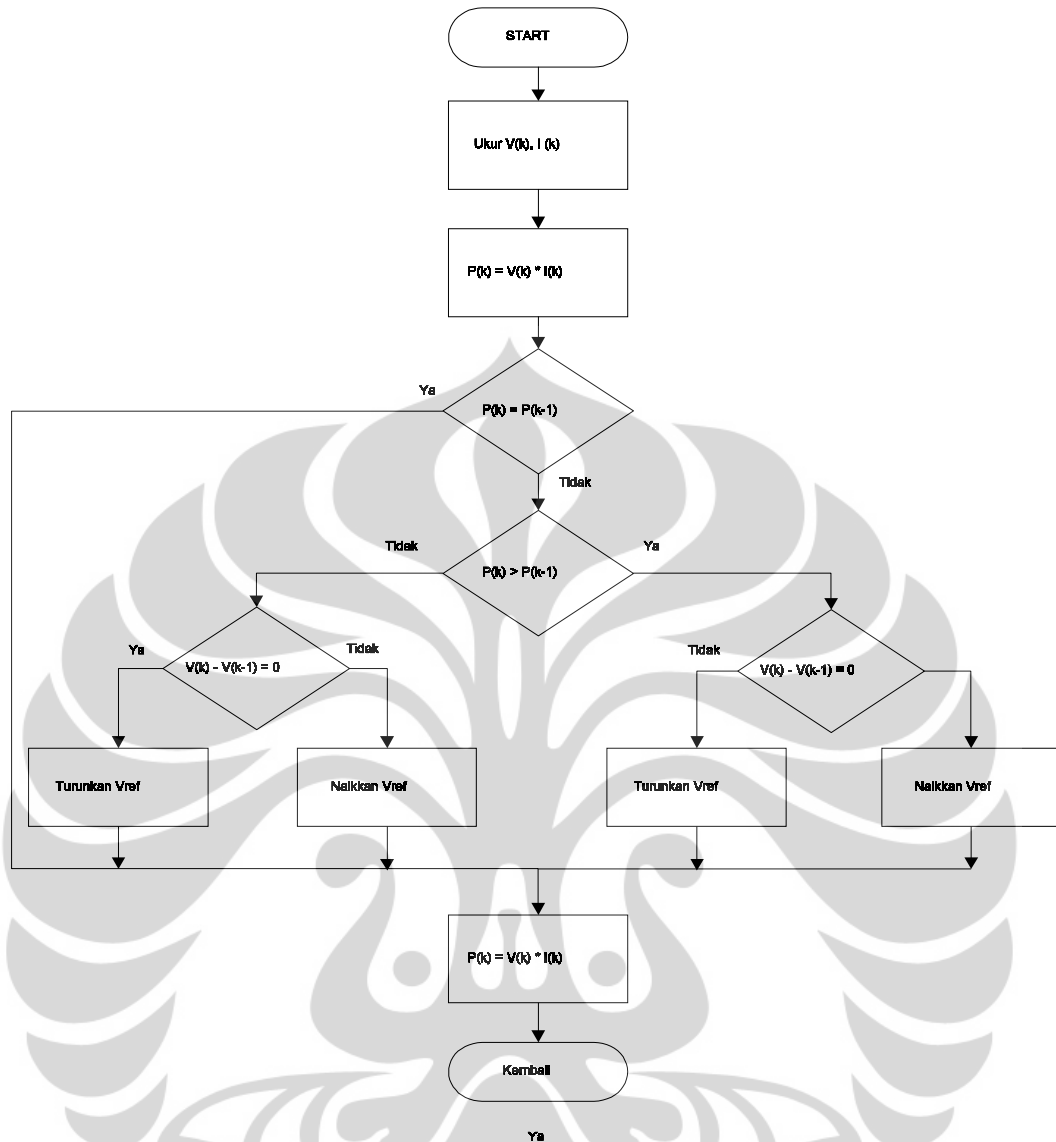
Umumnya *inverter* jenis GTI ini sekarang telah dilengkapi dengan mode *MPPT* seperti yang terdapat pada *inverter Steval* tersebut. Blok diagram serta algoritma di atas merupakan salah satu contoh yang dapat menjelaskan bagaimana prinsip kerja dari sistem *MPPT*. Metode yang digunakan *inverter* ini adalah metode *perturb and observe* (*P* dan *O*). *P* dan *O* merupakan metode yang sangat umum dan sangat mudah dalam menghasilkan teknik *MPPT*.

Pada *inverter* tersebut tegangan dan arus PV di ukur dengan sensor lalu di ubah ke sinyal digital untuk kemudian diproses di mikrokontroler STM32. Mikrokontroler inilah yang memproses algoritma metode P&O tersebut. Lalu output dari metode ini menghasilkan tegangan referensi atau sinyal eror.

Sinyal *error* yang dihasilkan dari proses tersebut kemudian di teruskan ke PI regulator. Lalu melalui kontrol pergeseran fasa mereka kemudian mengatur tegangan yang ada di DC-DC converter. DC-DC *converter* disini berfungsi sebagai untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan sehingga daya yang dihasilkan PV selalu mencapai titik maksimal.

Letak titik MPP pada kurva V-I maupun V-P tidak dapat diketahui namun dengan menggunakan algoritma dan metode-metode tertentu maka titik ini dapat ditemukan. Beberapa metode yang telah dikembangkan dan digunakan diantara *Perturb and Observe, Incremental Conductance, Dynamic Approach, Temperature Methods, Artificial Neural Network method, Fuzzy Logic method* dan sebagainya dimana tiap algoritma tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Metode *perturb & observe* (P&O) adalah algoritma MPPT yang paling populer karena algoritma dari metode ini sangat sederhana. Metode ini pun terus dikembangkan agar dapat menghasilkan respon yang cepat, efektifitas yang lebih tinggi maupun komputansi yang cepat dan mudah. Metode P&O yang telah dikembangkan contohnya seperti MPO atau *modified perturb observe* dan EPP. Berikut ini gambar diagram alir algoritma P&O.



Gambar 2.10 Algoritma MPPT metode P&O [7]

Pada dasarnya metode ini beroperasi dengan mengukur terminal tegangan PV yang terganggu/berubah-ubah secara periodik dan membandingkan besar daya *output*nya dengan daya *output* hasil dari proses P&O sebelumnya. Jika tegangan PV berubah dan dayanya meningkat sistem kontrolnya memindahkan *operating point* PV pada arah yang sama. Sebaliknya, *operating point* PV akan dipindahkan pada arah yang sebaliknya. Setelah itu siklus P&O diulang dengan cara yang sama.

Gambar *flow chart* diatas menjelaskan algoritma P&O yang diawali dengan pengukuran besar tegangan dan arus *output* dari *photovoltaic* dengan

menggunakan sensor arus dan sensor tegangan. Setelah itu algoritma pada flowchart tersebut diproses di mikrokontroler mulai dari perhitungan nilai daya *photovoltaic* berdasarkan tegangan dan arus tadi sampai didapat tegangan referensi atau V_{ref} untuk kemudian menjadi *input* dari *DC to DC converter* (biasanya berupa *boost converter*). Proses selanjutnya daya tersebut dibandingkan dengan daya sebelumnya, untuk mendapatkan perubahan nilai daya maka nilai tegangan yang di-*sampling* dibandingkan juga dengan nilai tegangan sebelumnya lalu dilakukan perhitungan untuk mengetahui selisih antara kedua tegangan tersebut sehingga didapatkan tegangan referensi. Oleh karena itu tegangan referensi tersebut dikurangkan atau ditambahkan bergantung pada perubahan daya dan tegangan PV. Setelah itu proses tersebut diulang lagi dengan kembali mengukur tegangan dan arus PV. Proses ini terus berulang agar tegangan yang dihasilkan *photovoltaic* tetap terus stabil.

Perlu diingat bahwa *maximum power point tracking* bukanlah *solar tracker*. Terkadang ada salah penafsiran dengan menyamakan kedua istilah tersebut. *Solar tracker* adalah alat yang digunakan untuk mengikuti sinar matahari dan meminimalisir sudut antara matahari dan *solar cell* sehingga sinar matahari dapat di tangkap lebih maksimal.

2.3.5 Anti Islanding

Islanding adalah istilah yang didefinisikan pada IEEE 1547 yaitu kondisi adanya sebuah area yang terputus dari sumber energi utilitas utama dan masih disuplai oleh satu atau lebih pembangkit listrik lokal di dekat area tersebut.[8]

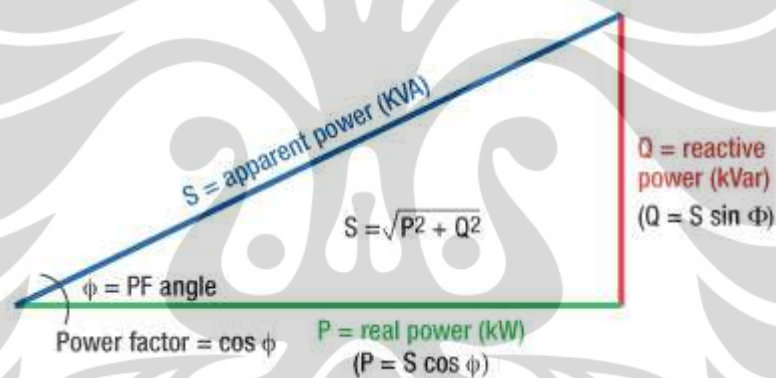
Islanding bisa berupa kondisi ketika terjadi pemadaman aliran listrik pada jaringan distribusi yang dimiliki oleh perusahaan listrik sedangkan sumber listrik dari solar cell tetap bekerja. Pemadaman ini bisa terjadi secara sengaja untuk memperbaiki kerusakan jaringan listrik, maupun terjadi secara tiba-tiba karena adanya gangguan listrik.

Pada kejadian padamnya grid utilitas secara tiba-tiba karena gangguan listrik, kemudian pembangkit listrik solar cell bekerja, kondisi *islanding* ini dapat mengakibatkan dampak negatif [9] :

1. Tegangan dan frekuensi listrik yang dihasilkan solar cell pada, area yang mengalami *islanding* tidak dapat dikontrol oleh utilitas. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan listrik.
2. Kondisi *islanding* dapat mengganggu pembangkitan kembali utilitas. *Anti islanding* berfungsi untuk memutuskan suplai listrik dari solar cell terhadap grid utilitas yang sedang padam. Pemutusan suplai ini bertujuan untuk menghindari dampak negatif dari kondisi *islanding* tersebut.

GTI akan terputus dengan *grid* karena *grid tie inverter* ini memang telah didesain untuk mensinkronisasi tegangan dan frekuensinya dengan tegangan utilitas. Jika listrik padam maka tidak ada sumber tegangan ataupun frekuensi yang dapat dijadikan acuan untuk disinkronisasi.

2.4 Power Factor



Gambar 2.11 Gambar Segitiga Daya

Power factor (PF) atau diterjemahkan sebagai faktor daya adalah nilai \cos dari sudut antara daya semu dan daya aktif. Daya aktif adalah daya yang dikonsumsi oleh beban resistif, seperti lampu pijar. Daya aktif memiliki satuan Watt. Daya reaktif adalah daya yang dikonsumsi beban induktif atau kapasitif, seperti motor listrik dan ballast pada lampu. Daya reaktif memiliki satuan Var. Sedangkan akumulasi dari kedua daya itu adalah daya semu yang satuannya VA.

Pada gambar 2.11 di atas, daya semu adalah bidang miring yang digambarkan dengan garis biru. Sedangkan daya aktif digambarkan dengan bidang datar horizontal berwarna hijau. Daya Reaktif adalah sisi vertikal yang berwarna merah.

Rumus dari daya semu adalah perkalian antara tegangan dan arus hasil pengukuran.

$$S = V.I \quad (1)$$

Dimana:

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan AC (Volt)

I = Arus AC (Ampere)

Sedangkan rumus dari daya aktif adalah perkalian tegangan dan arus hasil pengukuran dikalikan faktor daya.

$$P = V.I.\cos \phi \quad (2)$$

Dimana:

P = Daya Aktif (Watt)

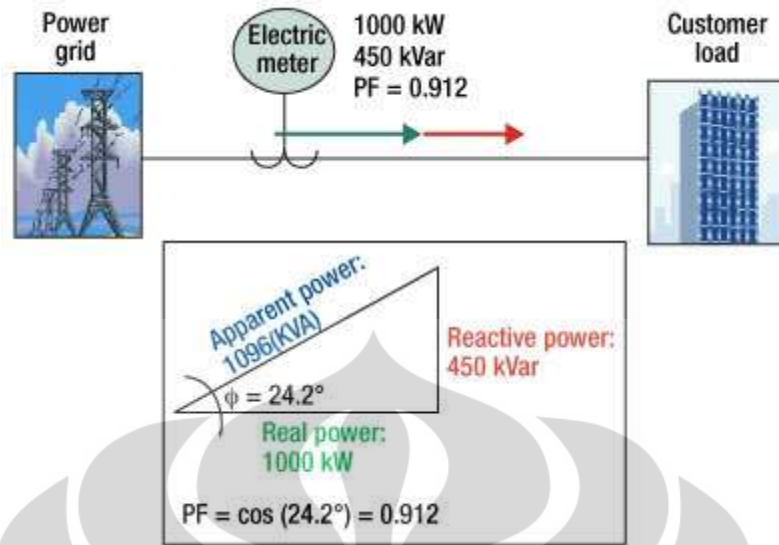
V = Tegangan AC (Volt)

I = Arus AC (Ampere)

ϕ = Sudut Faktor Daya

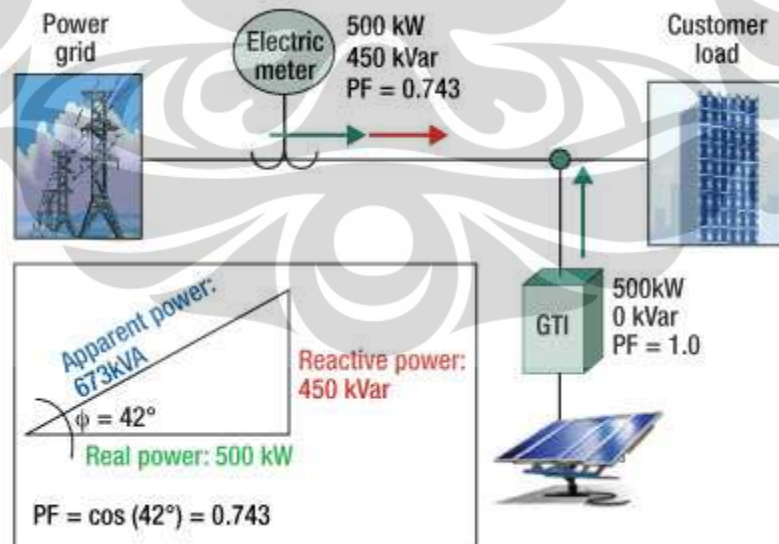
2.4.1 Pengaruh *Grid Tie Inverter* terhadap *Power Factor* Utilitas[8]

Grid Tie Inverter pada umumnya memiliki *unity power factor* atau $PF = 1$ sehingga tidak akan menjadikan nilai PF sistem menjadi makin rendah. Namun hasil penelitian www.renewableenergyworld.com menunjukkan hal sebaliknya, Setelah GTI dipasangkan pada sistem, nilai faktor daya sistem justru turun drastis.



Gambar 2.12 Sistem sebelum ditambahkan GTI

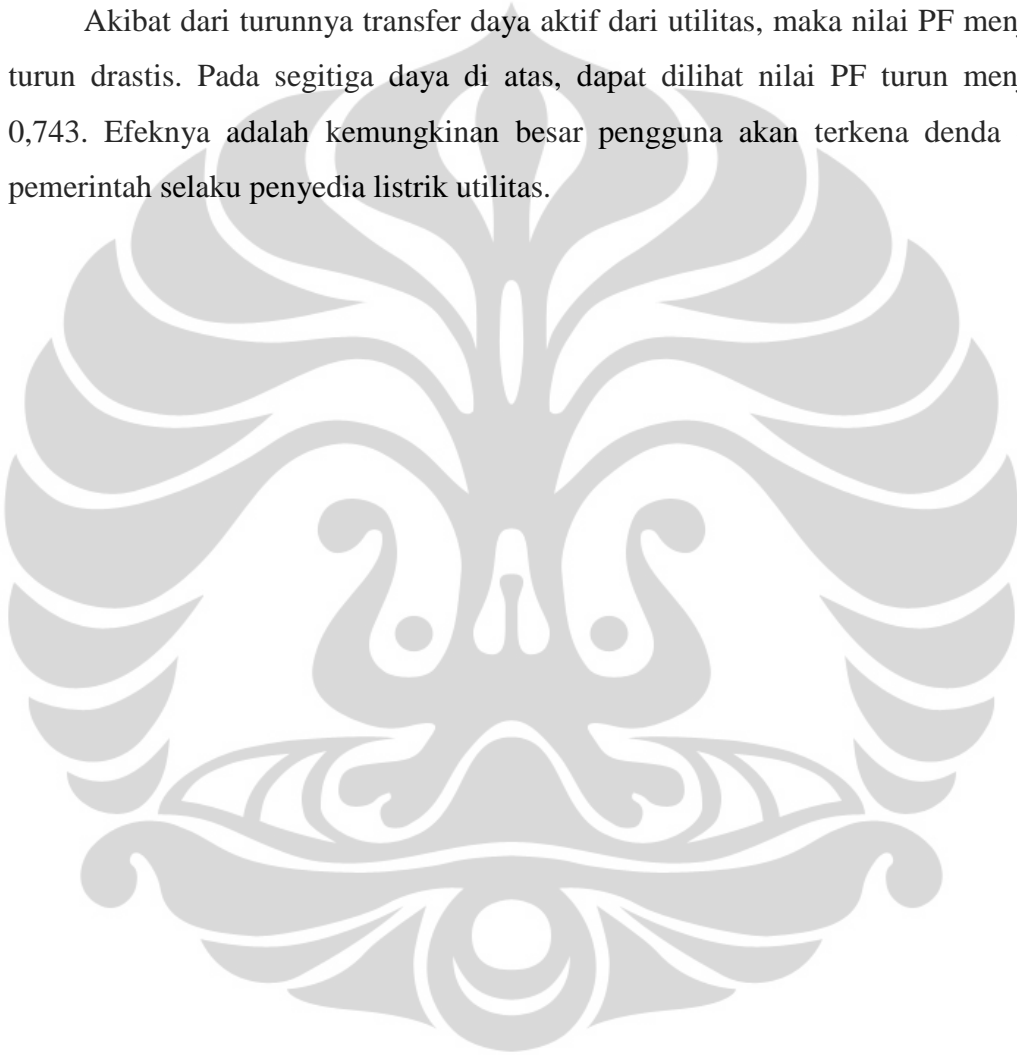
Pada gambar 2.12 di atas, sebuah sistem yang terhubung dengan *grid* utilitas mengkonsumsi daya aktif 1000kW dengan beban reaktif sebesar 450kVar. Maka akan didapat akumulasinya adalah daya semu sebesar 1096kVA. Sudut antara daya semu dan daya aktif yang terbentuk adalah $24,2^\circ$ dan didapat nilai faktor dayanya adalah $\cos 24,2^\circ = 0.912$.



Gambar 2.13 Sistem setelah ditambahkan GTI

Setelah ditambahkan GTI ke dalam sistem, nilai PF keseluruhan turun drastis. GTI dengan nilai faktor daya 1 akan menyumbangkan daya aktif 100% sehingga transfer daya aktif dari utilitas menjadi berkurang. Pada gambar 2.13 di atas, GTI menyumbangkan daya aktif 500KW sehingga daya aktif dari utilitas berkurang dari 1000KW menjadi 500KW. Sedangkan daya reaktif tidak ada perubahan karena GTI tidak menyumbangkan daya reaktif.

Akibat dari turunnya transfer daya aktif dari utilitas, maka nilai PF menjadi turun drastis. Pada segitiga daya di atas, dapat dilihat nilai PF turun menjadi 0,743. Efeknya adalah kemungkinan besar pengguna akan terkena denda dari pemerintah selaku penyedia listrik utilitas.



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik dari *Grid Tie Inverter* (GTI) pada sistem sel surya pada berbagai macam konfigurasi rangkaian. Pada penelitian ini, yang menjadi objek penelitian adalah tegangan dan arus keluaran dari GTI. Tegangan dan arus keluaran GTI dari berbagai macam konfigurasi tersebut kemudian dibandingkan dengan tegangan dan arus masukan sehingga didapatkan nilai efisiensi. Kemudian efisiensi daya keluaran dari tiap konfigurasi GTI dianalisis dan dibandingkan satu sama lain.

3.2 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Programmable Power Supply* CAMTEC tipe HSEUreg04801



Gambar 3.1 Programmable Power Supply

Programmable power supply adalah perangkat penyuplai arus dan tegangan yang dapat diatur keluarannya. Perangkat ini bekerja dengan cara dikendalikan oleh perangkat lunak yang bernama Simulator PV dan berfungsi untuk menggantikan peran PV. Untuk dapat menghasilkan

tegangan tertentu, Simulator PV harus diubah variabel *inputnya*. Perangkat yang digunakan untuk menghubungkan Simulator PV dari laptop ke *Programmable power supply* adalah NI-DAQ yang mendapatkan *input* dari interface USB pada laptop dan menyalurkannya pada interface khusus pada *Programmable power supply*. Spesifikasi *Programmable Power Supply* CAMTEC tipe HSEUreg04801 ini dapat dilihat pada Lampiran A.



Gambar 3.2 NI-DAQ 6008

Perangkat keras DAQ seperti gambar memiliki beberapa bagian-bagian yang digunakan untuk membaca atau mengontrol perangkat lain. Perangkat DAQ ini dikembangkan oleh National Instrument untuk membantu para pengguna dalam melakukan simulasi, pengukuran maupun pembuatan sistem kontrol. NI-DAQ ini adalah jembatan penghubung komunikasi antara Simulator PV dan *Programmable power supply*.

b. *Grid Tie Inverter (GTI)*



Gambar 3.3 Grid Tie Inverter Merek Yitai

Grid Tie Inverter (GTI) adalah komponen utama dari penelitian ini. GTI mengkonversikan energi dari PV agar bisa disuplai menuju grid. *Output* dari PV adalah arus searah yang akan menjadi *input* bagi GTI. Sedangkan *output* dari GTI adalah arus bolak-balik yang akan mensuplai grid. GTI yang digunakan pada penelitian ini memiliki adalah merek Yitai dengan kapasitas 1000 Watt dan 500 Watt. Spesifikasi GTI ini dapat dilihat pada Lampiran B.

c. Multimeter tipe GW INSTEK GDM-356

Multimeter GW INSTEK digunakan untuk mengukur tegangan keluaran *Programmable Power Supply* dan tegangan listrik PLN di awal penelitian.



Gambar 3.4 Multimeter GW INSTEK GDM-356

d. Tang ampere AC/DC tipe Kyoritsu 2004

Tang ampere digunakan sebagai alat ukur utama untuk mendapatkan nilai arus masukan dan arus keluaran dari inverter.



Gambar 3.5 Tang Ampere KYORITSU

e. Variac

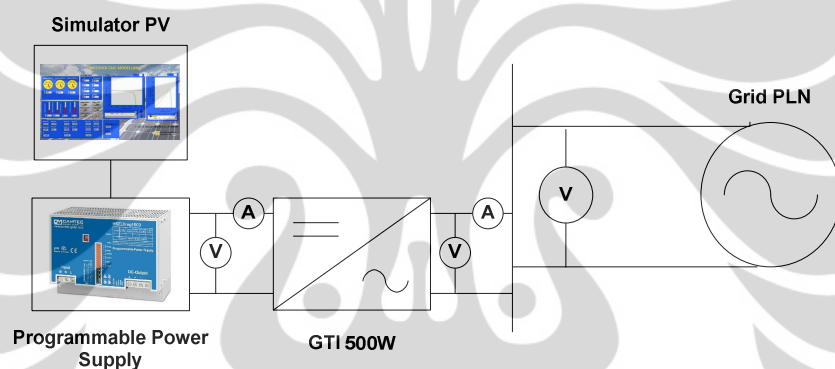


Gambar 3.6 Variac

Transformator variabel yang juga disebut sumber ac variabel atau “variable ac source” disingkat “Variac”, berupa suatu transformator auto (“auto transformer”) Variabel, yaitu suatu transformator yang lilitannya berupa lilitan toroid.

Variac dibutuhkan sebagai *input* bagi *Programmable power supply* agar tegangan AC berada pada wilayah kerja yang aman. Perlu diketahui bahwa batas aman tegangan AC dari *Programmable power supply* adalah dibawah 230V. Sedangkan pengujian dilakukan pada tengah malam saat voltase stabil pada 228V yang nyaris melewati batas aman tersebut. Variac dibutuhkan untuk menurunkan tegangan AC dari 228V menjadi 210V agar *Programmable power supply* terhindar dari kerusakan.

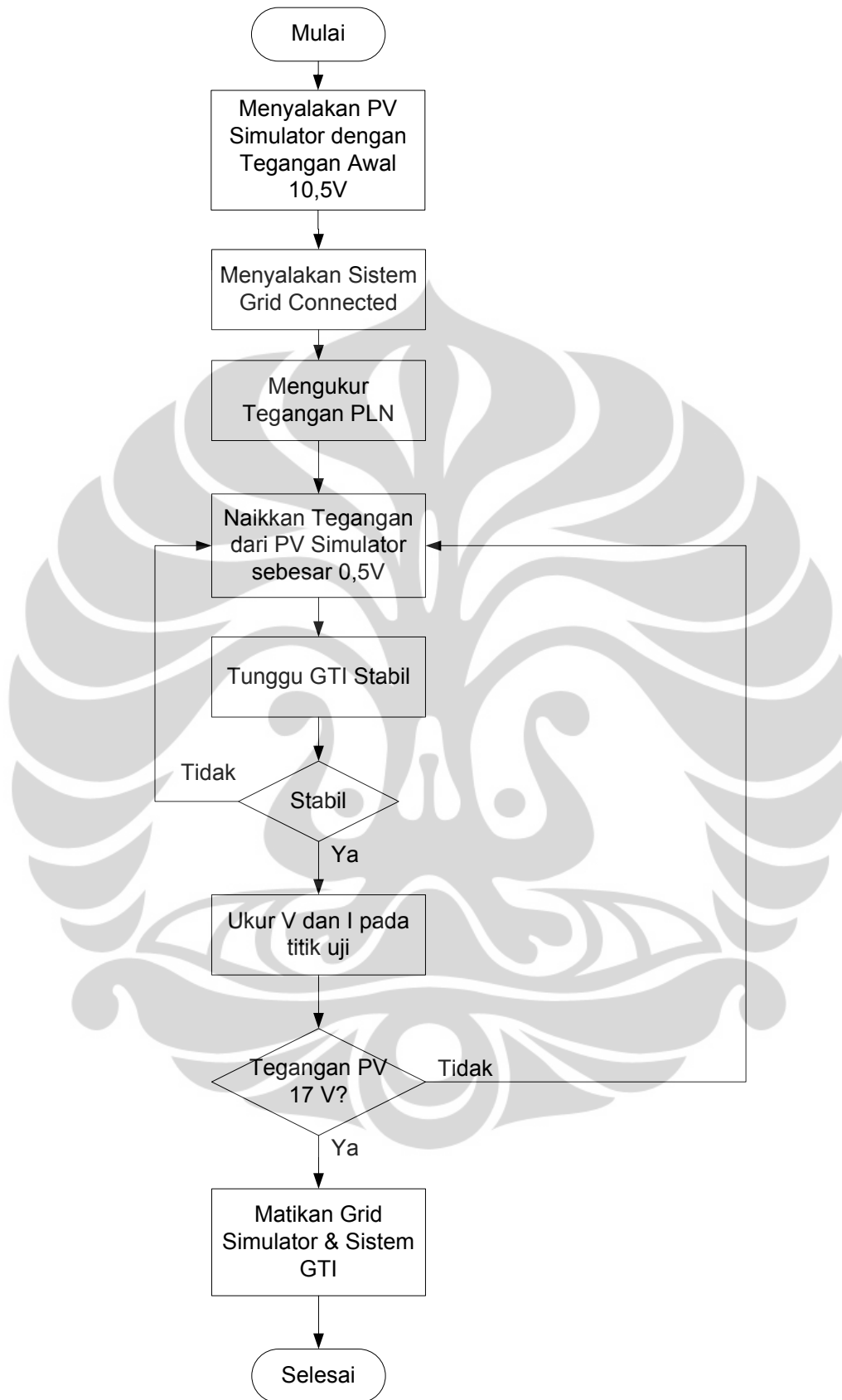
Instrumen-instrumen di atas disusun hingga membentuk rangkaian seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.7. Gambar 3.7 menunjukkan salah satu dari beberapa konfigurasi rangkaian yang akan diuji dalam penelitian ini.



Gambar 3.7 Susunan rangkaian pengujian

3.3 Prosedur Pengambilan Data

Proses pengujian grid tie inverter melibatkan beberapa komponen yaitu PV Simulator, *programmable power supply*, *grid tie inverter* (GTI), dan sistem *grid-connected* dengan alat ukur berupa multimeter digital dan tang ampere. Untuk melakukan pengambilan data, ada beberapa langkah yang harus dilakukan, seperti yang ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Prosedur pengambilan data

Penjelasan langkah-langkah pengambilan data pada Gambar 3.9 adalah sebagai berikut:

1. Hal yang pertama kali dilakukan adalah menyalakan PV simulator. PV simulator adalah sebuah program berbasis Labview yang berfungsi untuk mengatur tegangan *output* dari *programmable power supply*.
2. Menyalakan sistem *grid-connected*, yaitu dengan menghubungkannya pada grid PLN dan menyalakan 3 buah kontaktor.
3. Selanjutnya adalah mengubah atau menaikkan tegangan dari PV simulator hingga level tertentu. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, fungsi PV simulator adalah untuk mengendalikan *programmable power supply* yang berperan sebagai PV. Untuk mengubah tegangan PV simulator, dilakukan dengan cara mengubah nilai jumlah PV hingga pada voltmeter mencapai volatase yang diinginkan.
4. Tahap selanjutnya adalah menunggu GTI hingga keadaan stabil. Keadaan stabil pada GTI ditunjukkan oleh kedipan lampu LED hijau indikator. Jika lampu indikator hijau tidak berkedip, itu menandakan bahwa GTI telah stabil dan telah menemukan titik maksimum daya keluaran. Namun jika lampu indikator pada GTI berkedip-kedip, itu artinya GTI belum menemukan titik maksimum daya keluaran. Dalam keadaan stabil, GTI telah mendapatkan besaran arus tertentu. Arus tersebut kemudian diukur dengan menggunakan tang ampere. Namun jika GTI sampai waktu yang lama tidak stabil, arus yang diukur adalah arus dengan nilai tertinggi yang dapat dilihat.
5. Menaikkan tegangan PV simulator seperti pada langkah nomor 3 dari nilai 10,5 V hingga 17 Volt. Jika tegangan simulator PV sudah mencapai 17 V, proses pengambilan data sudah dapat dihentikan.
6. Matikan Simulator PV dan sistem *grid-connected*.

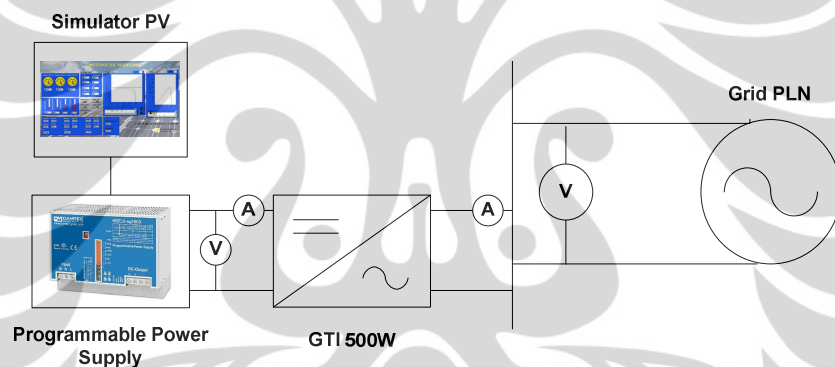
3.4 Skenario Pengujian

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui arus keluaran dari GTI dan efisiensinya dari berbagai macam konfigurasi sistem GTI. Untuk pengujian, tegangan Simulator PV awal adalah sebesar 11 V. Pengambilan data dilakukan sebanyak 13 kali untuk setiap konfigurasi, dengan step kenaikan tegangan sebesar 0,5 V. Pengambilan dihentikan ketika tegangan dari Simulator PV telah mencapai 17 V.

Ada delapan konfigurasi rangkaian sistem GTI yang diuji pada penelitian ini, yaitu:

1. Rangkaian GTI 500 W tunggal

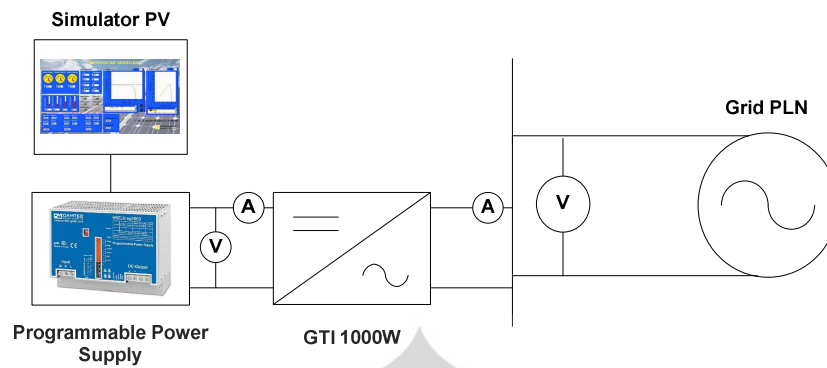
Pada konfigurasi ini, GTI yang digunakan adalah yang mempunyai kapasitas 500 W dan dihubungkan langsung dengan PV dan grid. Konfigurasi ini ditunjukkan oleh Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Rangkaian GTI 500 W tunggal

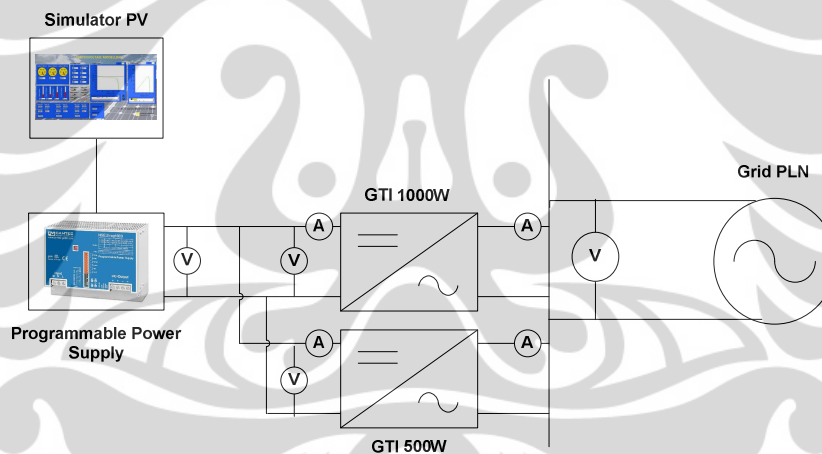
2. Rangkaian GTI 1000 W tunggal

Pada konfigurasi ini, sebuah GTI yang mempunyai kapasitas 1000W dihubungkan langsung dengan PV dan grid. Konfigurasi ini ditunjukkan oleh Gambar 3.10.



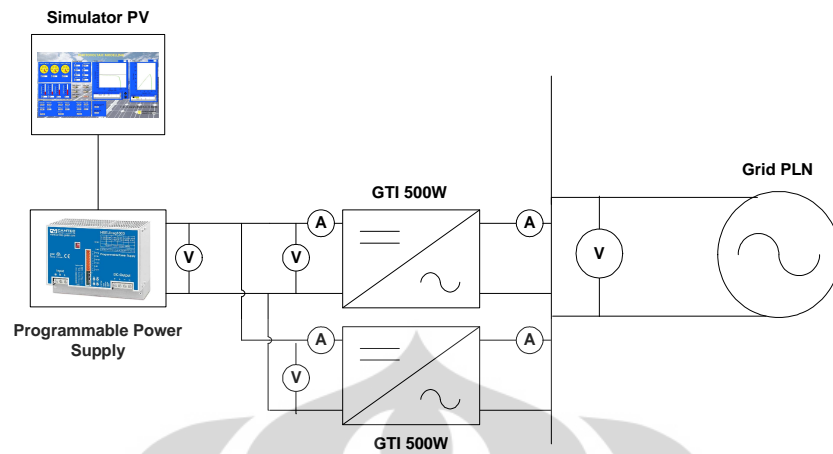
Gambar 3.10 Rangkaian GTI 1000 W tunggal

3. Rangkaian paralel GTI 1000 W dengan 500 W
 Pada konfigurasi ini, GTI yang mempunyai kapasitas dan 1000W dan 500W dibuat menjadi paralel dan dihubungkan dengan PV dan grid. Konfigurasi ini ditunjukkan oleh Gambar 3.11.

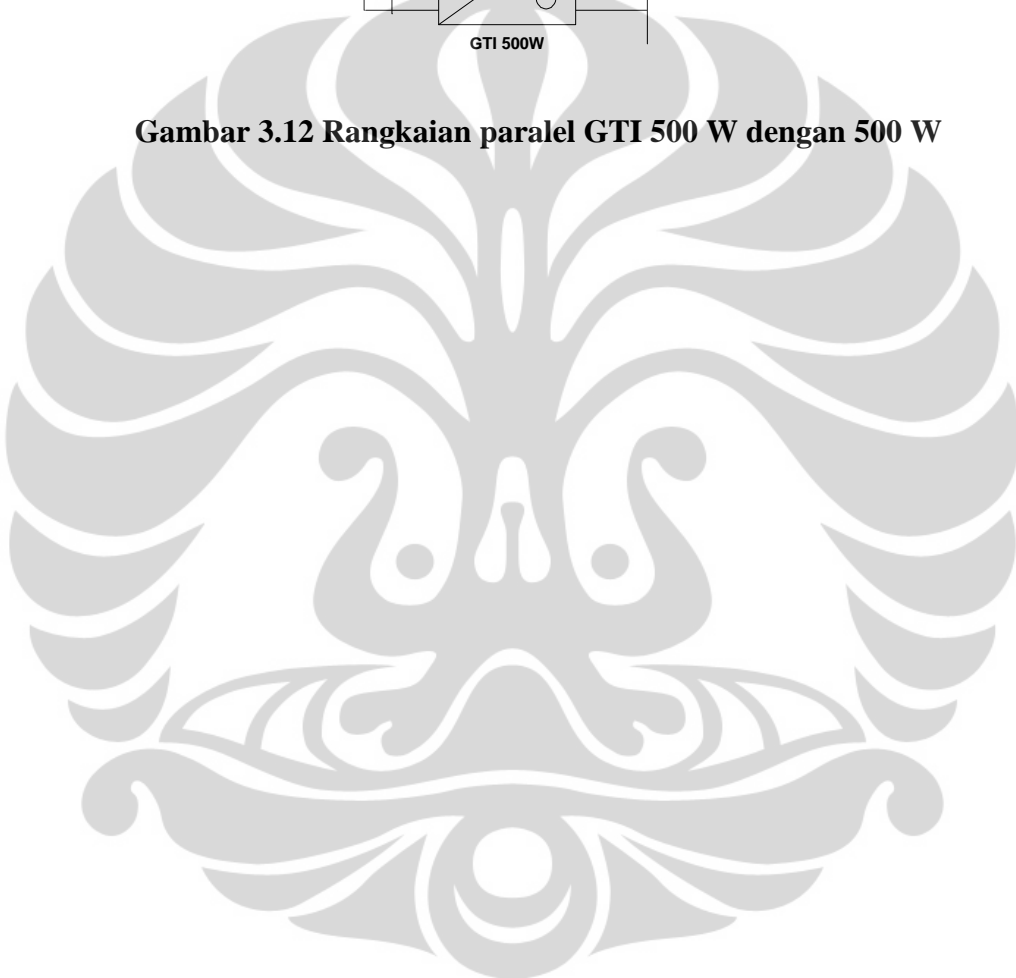


Gambar 3.11 Rangkaian paralel GTI 1000 W dengan 500 W

4. Rangkaian paralel GTI 500 W dengan 500 W
 Pada konfigurasi ini, dua buah GTI yang mempunyai kapasitas 500W dibuat menjadi paralel dan dihubungkan dengan PV dan grid. Konfigurasi ini ditunjukkan oleh Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Rangkaian paralel GTI 500 W dengan 500 W



BAB 4 HASIL DATA PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Detail Pengujian

Pengujian *grid tie inverter* dengan empat konfigurasi dilakukan pada tegangan *grid* yang sama dan berlangsung pada siang hari. Tepatnya, dilakukan di lab Engineering Center FTUI pada hari minggu pukul 08.00 hingga pukul 11.00 WIB. Hari minggu dipilih karena tidak ada aktivitas perkuliahan sehingga tegangan utilitas tidak berubah-ubah.

Dari hasil pengujian, data akan diolah untuk mendapatkan nilai daya input dan output, juga efisiensinya. Perhitungan daya yang dipakai untuk input dan output sama, yaitu perhitungan daya semu (VA).

$$S = V \times I$$

S = daya semu (VA)

V = tegangan (Volt)

I = arus (Ampere)

Sedangkan untuk menghitung efisiensinya digunakan rumus sederhana yaitu perbandingan daya output terhadap daya input.

$$\eta = \frac{S_{out}}{S_{in}} \times 100\%$$

η = efisiensi (%)

S out = daya semu output (VA)

S in = daya semu input (VA)

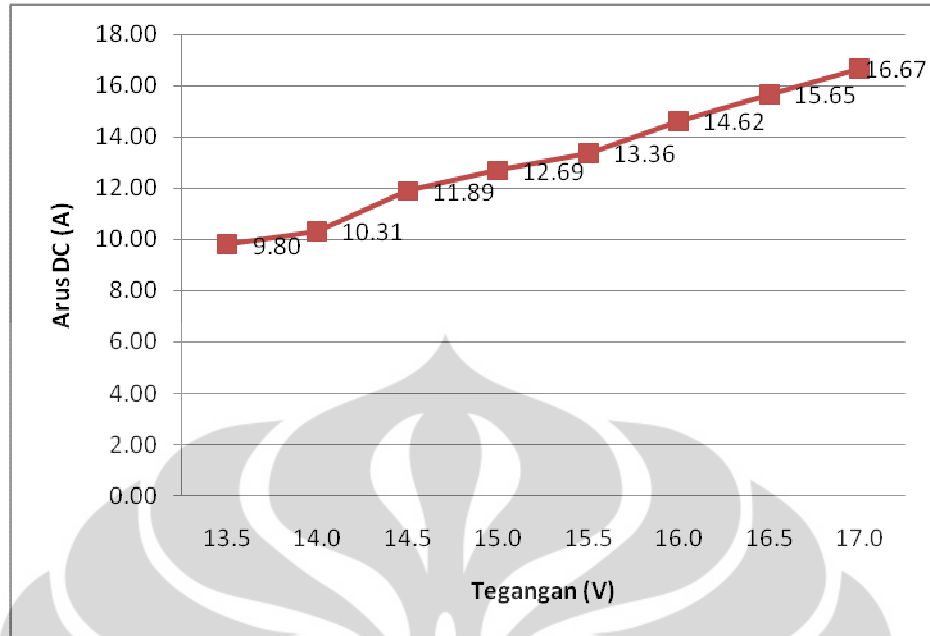
4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 Hasil Pengujian GTI 500 W Tunggal

Tabel 4.1 Hasil Pengujian GTI 500 W Tunggal

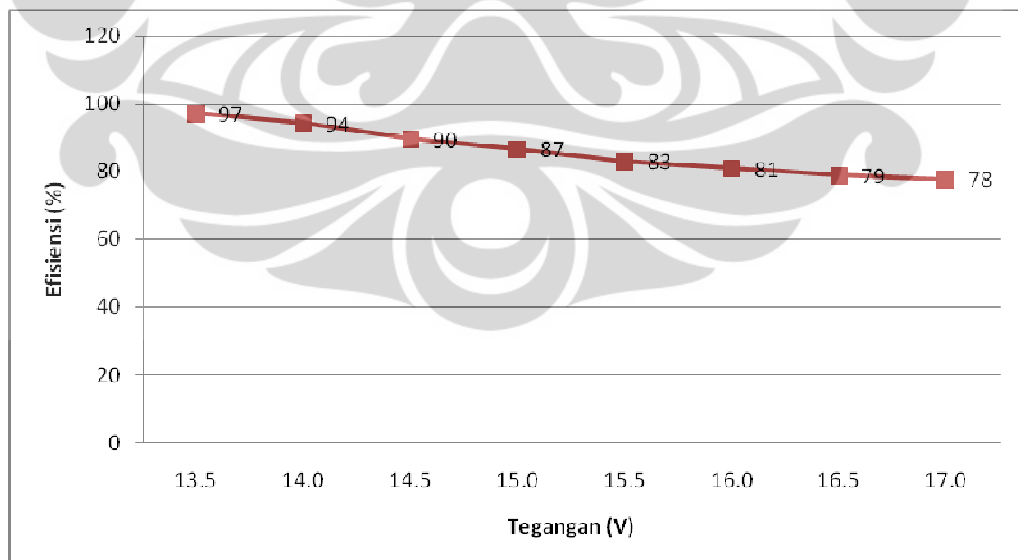
Vin dc (V)	Vdc (V)	Idc (A)	Vac (V)	Iac (A)	S in (VA)	S out (VA)	η (%)
11.0	Tidak Stabil						
11.5	Tidak Stabil						
12.0	Tidak Stabil						
12.5	Tidak Stabil						
13.0	Tidak Stabil						
13.5	12.75	9.80	225	0.54	124.95	121.50	97
14.0	13.42	10.31	225	0.58	138.36	130.50	94
14.5	13.94	11.89	225	0.66	165.75	148.50	90
15.0	14.32	12.69	225	0.70	181.72	157.50	87
15.5	14.80	13.36	225	0.73	197.73	164.25	83
16.0	15.21	14.62	225	0.80	222.37	180.00	81
16.5	15.67	15.65	225	0.86	245.24	193.50	79
17.0	16.32	16.67	225	0.94	272.05	211.50	78

Vin dc adalah tegangan input yang berasal dari *programmable power supply*. Sedangkan Vdc adalah tegangan yang terukur pada kutub GTI. Terdapat susut tegangan yang cukup besar, yaitu rata-rata 0.7V. Susut tegangan terjadi karena kabel penghantar yaitu kabel amperemeter digital menjadi panas karena melebihi *ampacity*nya yaitu sebesar 10A. Tegangan yang dipakai untuk menghitung daya input adalah tegangan yang telah mengalami susut yaitu Vdc ini.



Gambar 4.1 Grafik Arus *input* GTI 500 W tunggal

Rangkaian pengujian GTI 500W tunggal ini ada pada gambar 3.10. Pengujian dimulai dari tegangan 11 Volt dan baru mencapai kestabilan pada tegangan 13.5 Volt. Dari grafik arus *input* pada gambar 4.1, dapat dilihat kenaikan arus dari 9.8A hingga 16.67A dan cenderung linear.



Gambar 4.2 Efisiensi GTI 500 W tunggal

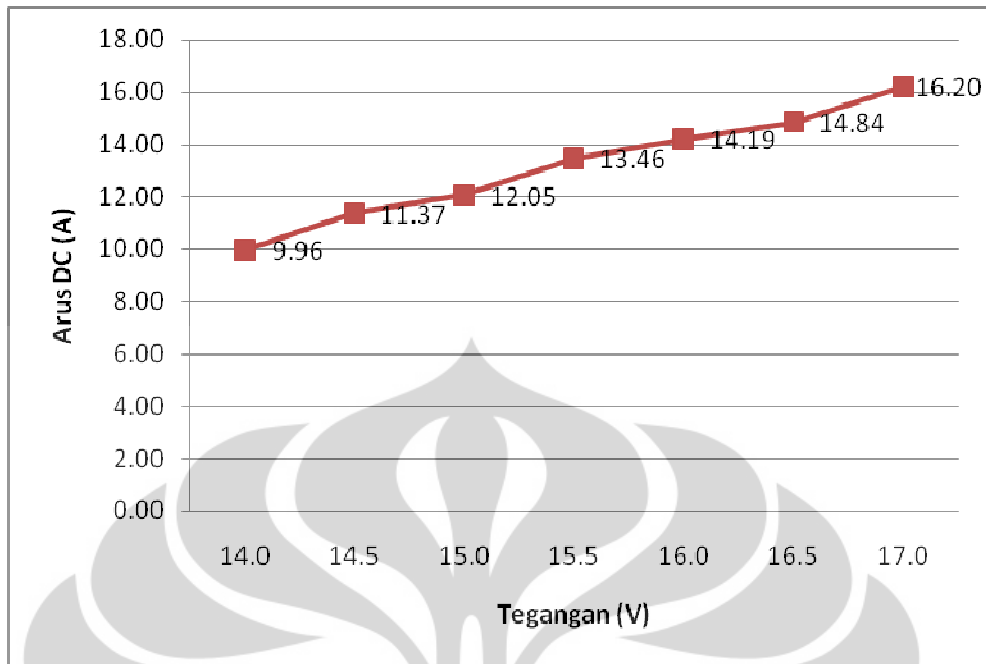
Efisiensi GTI 500W pada saat awal kestabilan adalah sebesar pada tegangan 13.5V adalah sebesar 97%. Grafik menunjukkan efisiensi yang terus turun secara linear hingga mencapai 78% pada tegangan 17V.

4.2.2 Hasil Pengujian GTI 1000 W tunggal

Tabel 4.2 Hasil Pengujian GTI 1000 W Tunggal

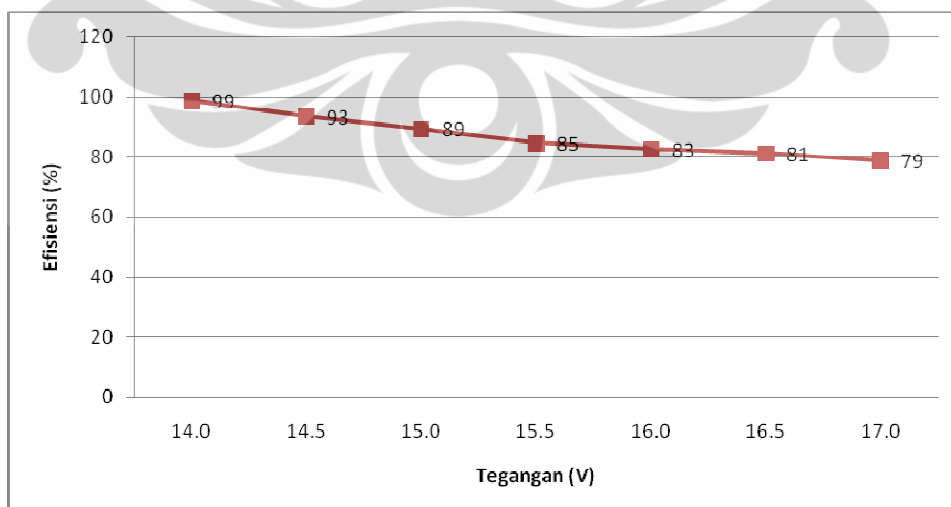
Vin dc (V)	Vdc (V)	Idc (A)	Vac (V)	Iac (A)	S in (VA)	S out (VA)	η (%)
11.0	Tidak Stabil						
11.5	Tidak Stabil						
12.0	Tidak Stabil						
12.5	Tidak Stabil						
13.0	Tidak Stabil						
13.5	Tidak Stabil						
14.0	13.50	9.96	225	0.59	134.46	132.75	99
14.5	13.97	11.37	225	0.66	158.84	148.50	93
15.0	14.43	12.05	225	0.69	173.88	155.25	89
15.5	15.02	13.46	225	0.76	202.17	171.00	85
16.0	15.56	14.19	225	0.81	220.80	182.25	83
16.5	15.89	14.84	225	0.85	235.81	191.25	81
17.0	16.40	16.20	225	0.93	265.68	209.25	79

Pada pengujian GTI 1000W, GTI mengalami kestabilan pada tegangan 14V. Nilai arus input mengalami kenaikan dari 9.96A pada 14V hingga 16.2A pada 17V. Nilai daya input hasil pengukuran tidak langsung adalah 13.46VA hingga 265.68VA.



Gambar 4.3 Grafik Arus input GTI 1000 W tunggal

Kenaikan arus input pada percobaan GTI 1000W juga mengalami kenaikan linear. Nilainya hampir sama dengan GTI 500W. Adanya sedikit perbedaan arus, walaupun tegangan inputnya sama, disebabkan oleh karakteristik kerja *programmable power supply* yang tidak memiliki pengendali arus. Pada tegangan yang sama, arus input pada keempat konfigurasi GTI akan berbeda-beda sesuai kebutuhan GTI.



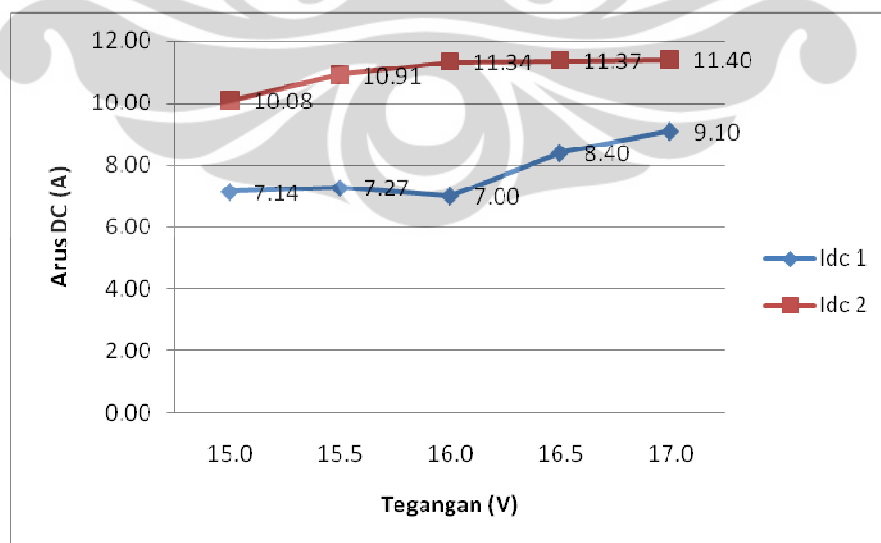
Gambar 4.4 Efisiensi GTI 1000 W tunggal

Grafik efisiensi GTI 1000W menunjukkan pola yang hampir sama dengan pengujian GTI 500W. Efisiensi pada tegangan 14V sangat tinggi yaitu 99% dan terus turun secara linear hingga 79% pada tegangan 17V.

4.2.3 Pengujian GTI 1000 W dengan 500 W paralel

Tabel 4.3 Hasil Pengujian GTI 1000 W dengan 500 W paralel

Vin dc (V)	V1	Idc 1 (A)	V2	Idc 2 (A)	Vac (V)	Iac 1 (A)	Iac 2 (A)
11.0	Tidak Stabil						
11.5	Tidak Stabil						
12.0	Tidak Stabil						
12.5	Tidak Stabil						
13.0	Tidak Stabil						
13.5	Tidak Stabil						
14.0	Tidak Stabil						
14.5	Tidak Stabil						
15.0	14.45	7.14	14.20	10.08	225	0.43	0.56
15.5	14.89	7.27	14.65	10.91	225	0.44	0.60
16.0	15.34	7.00	15.12	11.34	225	0.43	0.62
16.5	15.70	8.40	15.56	11.37	225	0.51	0.63
17.0	16.16	9.10	16.09	11.40	225	0.54	0.65



Gambar 4.5 Grafik Arus *input* GTI 1000 W dengan 500 W paralel

Pada percobaan dengan GTI 1000W dan 500W secara paralel didapat pembagian arus input yang tidak seimbang. Grafik berwarna biru yang dinotasikan dengan label 1 adalah GTI 500W. Sedangkan grafik berwarna merah dengan label angka 2 adalah GTI 1000W.

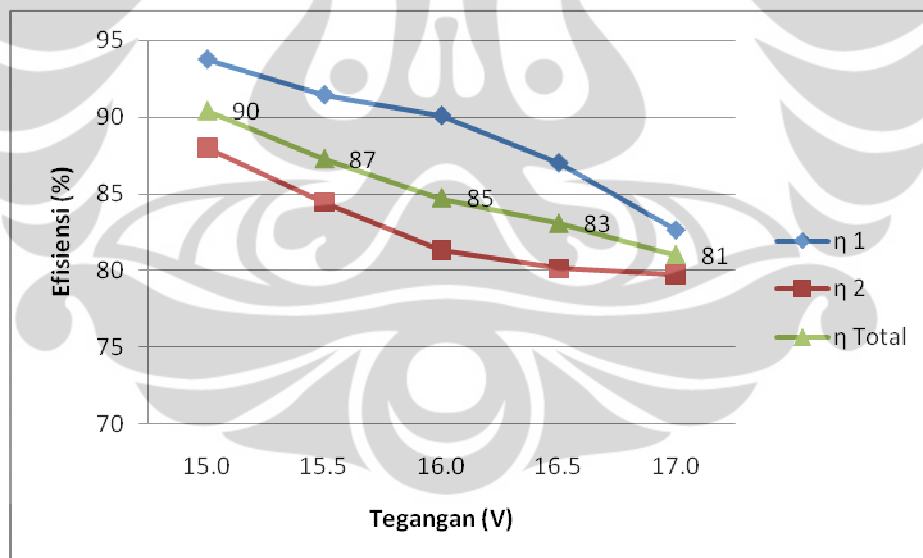
Walaupun tidak tertera pada grafik, sejak tegangan *input* naik dari 11V hingga 14.5V, GTI 1000W menarik arus terlebih dahulu dan mencapai kestabilan. Sedangkan pada GTI 500W arus yang mengalir sangat kecil dan bisa diabaikan. Karena GTI 500W tidak stabil maka pengukuran baru dilakukan pada tegangan 15V saat keduanya stabil.

Setelah GTI 1000W mencapai nilai arus *input* 10A, kenaikan tegangan berikutnya tidak terlalu berpengaruh pada arus *input*. Dari tegangan 15V dengan arus 10.08A, Gti 1000W hanya mengalami kenaikan tegangan hingga 11,4A pada tegangan akhir 17V. Hal ini menunjukkan GTI 1000W mengalami nilai optimum dan justru arus DC *input* dialihkan ke GTI 500W.

Pada GTI 500W, dari kondisi tidak stabil menjadi stabil pada tegangan 15V karena arus *input* mengalir padanya. Dari nilai 7.14A arus *input* naik tidak linear dan dapat dilihat pada gambar 4.5 di atas.

Tabel 4.4 Perhitungan Efisiensi GTI 1000 W dan 500W paralel

Vin dc (V)	S in 1	S in 2	S out 1	S out 2	$\eta 1$	$\eta 2$	$\Sigma S in (VA)$	$\Sigma S out (VA)$	$\Sigma \eta (\%)$
11.0	Tidak Stabil								
11.5	Tidak Stabil								
12.0	Tidak Stabil								
12.5	Tidak Stabil								
13.0	Tidak Stabil								
13.5	Tidak Stabil								
14.0	Tidak Stabil								
14.5	Tidak Stabil								
15.0	103.17	143.14	96.75	126	94	88	246.31	222.75	90
15.5	108.25	159.83	99.00	135	91	84	268.08	234.00	87
16.0	107.38	171.46	96.75	140	90	81	278.84	236.25	85
16.5	131.88	176.92	114.75	142	87	80	308.80	256.50	83
17.0	147.06	183.43	121.50	146	83	80	330.48	267.75	81



Gambar 4.6 Efisiensi GTI 500 W + 1000 W paralel

Efisiensi gabungan dihitung dengan cara menjumlahkan daya input, begitu pula dengan daya output. Kemudian membandingkan total daya output terhadap total daya input.

Kedua buah GTI yaitu dengan kapasitas 500W dan 1000W dirangkai secara paralel. Rangkaian ini dianggap sebagai *black box*, dengan pengukuran tidak langsung terhadap daya input dan daya output.

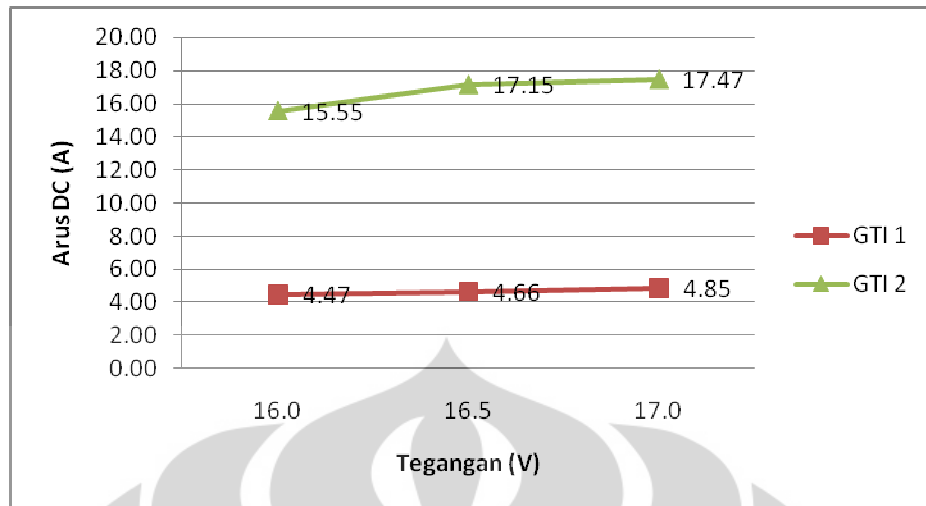
Pada tabel 4.4 bisa dilihat kinerja GTI 1 yaitu GTI 500W mendapatkan input daya sebesar 103.17VA hingga 147.06VA. Sedangkan GTI 2 yaitu GTI 1000W bekerja dengan daya input lebih banyak yaitu dari 142.14VA hingga 183.43VA.

Pada konfigurasi ini, nilai efisiensi daya seluruh sistem adalah 90%-81% pada tegangan 15V-17V. Efisiensi juga mengalami penurunan secara linear dari tegangan 15V hingga 17V.

4.2.4 Pengujian Dua Buah GTI 500 W Paralel

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Dua GTI 500 W Paralel

Vin dc (V)	V1	Idc 1 (A)	V2	Idc 2 (A)	Vac (V)	Iac 1 (A)	Iac 2 (A)
11.0	Tidak Stabil						
11.5	Tidak Stabil						
12.0	Tidak Stabil						
12.5	Tidak Stabil						
13.0	Tidak Stabil						
13.5	Tidak Stabil						
14.0	Tidak Stabil						
14.5	Tidak Stabil						
15.0	Tidak Stabil						
15.5	Tidak Stabil						
16.0	15.42	4.47	14.00	15.55	225	0.30	0.79
16.5	15.70	4.66	14.09	17.15	225	0.31	0.86
17.0	16.26	4.85	14.62	17.47	225	0.32	0.87



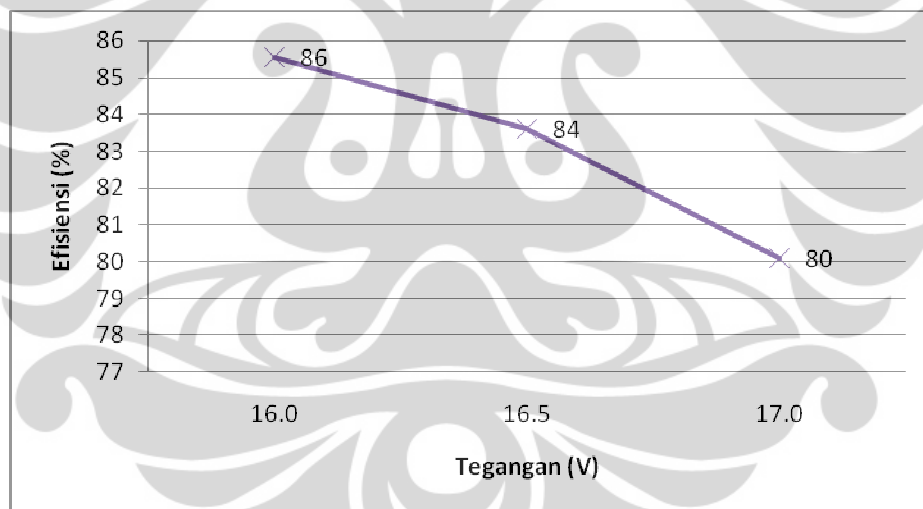
Gambar 4.7 Grafik Arus *input* 2 buah GTI 500 W paralel

Dari gambar 4.7 di atas didapat pembagian kerja kedua inverter yang tidak seimbang. Keduanya adalah GTI 500W. Namun salah satunya bekerja dengan arus input yang rendah.

Kedua GTI ini sama-sama mencapai kestabilan pada tegangan 16V. Salah satu GTI 500W yang berlabel angka 1 pada grafik dan berwarna biru, mencapai kestabilan pada arus *input* sekitar 4A dan menolak arus *input* lebih besar lagi. Arus DC *input* dialihkan pada GTI 500W berlabel angka 2 sehingga GTI ini mengalami kenaikan arus secara linear.

Tabel 4.6 Perhitungan Efisiensi dua buah GTI 500W paralel

Vin dc (V)	S in 1	S in 2	S out 1	S out 2	η 1	η 2	Σ S in (VA)	Σ S out (VA)	$\Sigma \eta$ (%)
11.0	Tidak Stabil								
11.5	Tidak Stabil								
12.0	Tidak Stabil								
12.5	Tidak Stabil								
13.0	Tidak Stabil								
13.5	Tidak Stabil								
14.0	Tidak Stabil								
14.5	Tidak Stabil								
15.0	Tidak Stabil								
15.5	Tidak Stabil								
16.0	68.93	217.70	67.50	178	98	82	286.63	245.25	86
16.5	73.16	241.64	69.75	194	95	80	314.81	263.25	84
17.0	78.86	255.41	72.00	196	91	77	334.27	267.75	80



Gambar 4.8 Efisiensi dua buah GTI 500 W paralel

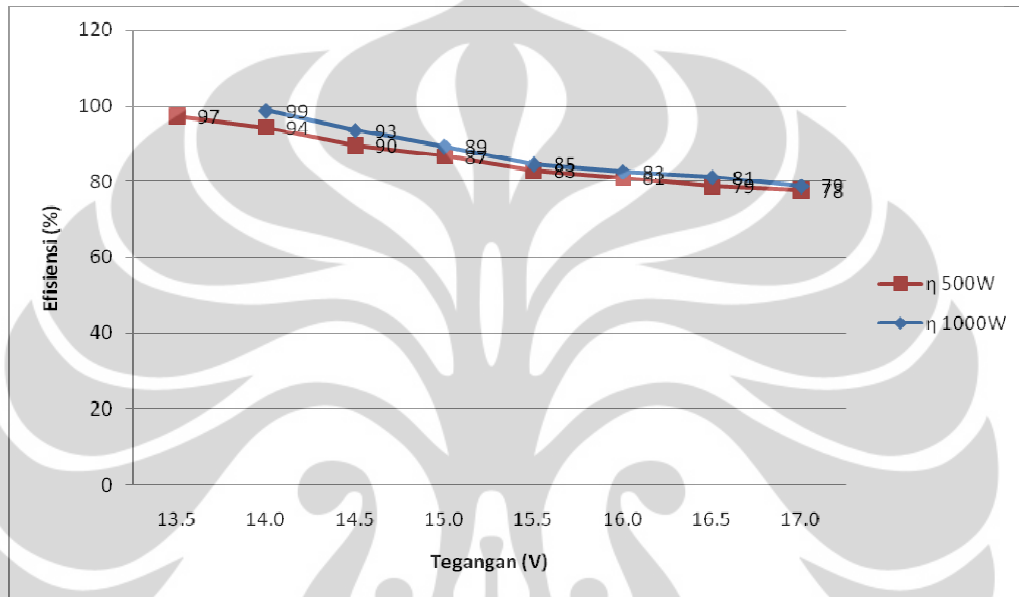
Efisiensi GTI 500W dihitung dengan cara yang seperti sebelumnya. Yaitu dengan dengan membandingkan total daya *output* terhadap total daya *input*.

GTI I bekerja dengan daya input yang kecil yaitu dari 68.93VA hingga 78.86VA. Nilai ini jauh lebih kecil daripada daya input pada GTI 2 yang nilainya adalah 217.7VA hingga 255.41 VA.

Nilai efisiensi total pada awal GTI stabil, yaitu pada 16V, adalah 86%, kemudian efisiensi terus turun seiring tegangan yang naik dan daya keluaran yang makin besar.

4.3 Perbandingan Efisiensi

4.3.1 Perbandingan Efisiensi GTI 500W dengan GTI 1000W

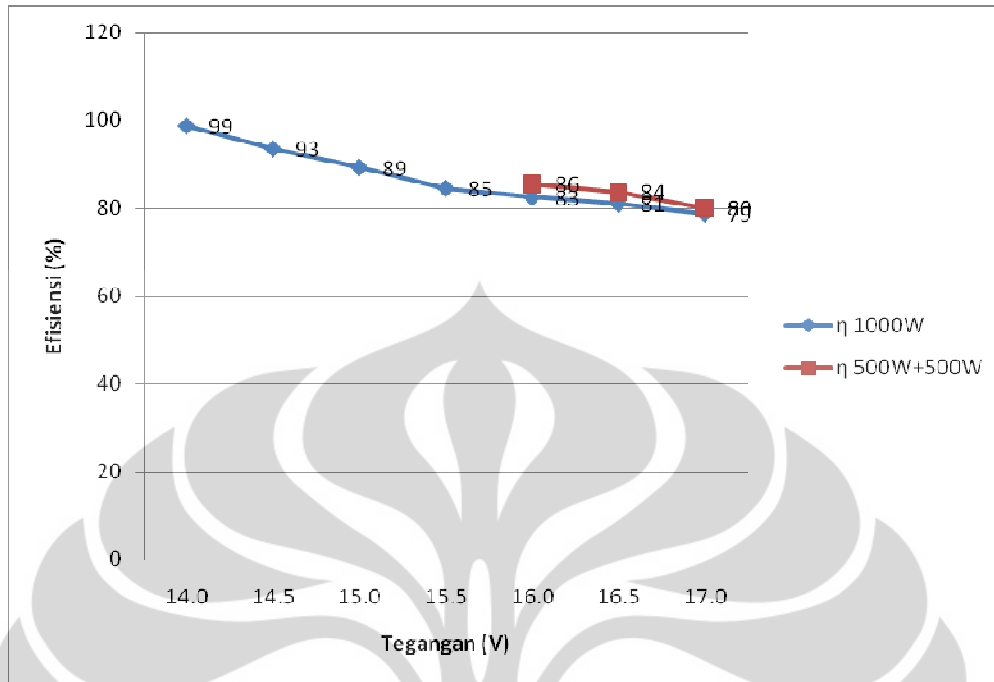


Gambar 4.9 Perbandingan Efisiensi antara GTI 500W dan GTI 1000W

Kedua sistem mencapai kestabilan pada tegangan yang berbeda. GTI 500W lebih dulu stabil yaitu pada tegangan 13.5V, sedangkan GTI 1000W stabil pada tegangan 14V.

Efisiensi GTI 500W dan GTI 1000W terlihat hampir sama, walaupun secara konsisten nilai efisiensi daya GTI 1000W selalu lebih tinggi daripada GTI 500W.

4.3.2 Perbandingan Efisiensi GTI 1000 W dan 2 buah GTI 500 W paralel



Gambar 4.10 Perbandingan Efisiensi GTI 1000 W tunggal dengan 2 buah GTI 500 W paralel

Kedua sistem mencapai kestabilan pada tegangan yang berbeda. GTI 1000W lebih dulu stabil yaitu pada tegangan 14V, sedangkan konfigurasi 2 GTI 500W paralel stabil pada tegangan 16V.

Efisiensi kedua konfigurasi secara teori adalah sama karena beban kerja keduanya sama dengan kapasitas yang sama pula.

4.4 Analisis Kelebihan dan Kekurangan Konfigurasi Tunggal dan Paralel

Konfigurasi tunggal mengandalkan kerja pada satu inverter saja. Dengan kinerja yang berat, resiko kerusakan menjadi lebih tinggi. Apabila GTI satu-satunya itu mengalami kerusakan, maka tidak ada cadangan untuk menggantikannya dan sistem *grid connected* tidak bisa bekerja sama sekali.

Konfigurasi paralel memiliki kelebihan utama pada faktor ketahanan ini. Dengan membagi kerja pada semua GTI, kinerja masing-masing menjadi lebih ringan dan resiko kerusakan bisa diminimalisir. Apabila terjadi kerusakan pada salah satu GTI, maka masih ada cadangan GTI untuk menanggung sistem *grid connected* untuk terus bekerja.

4.5 Analisis MPPT dan Kondisi Tidak Stabil

Kestabilan GTI dapat dilihat dari kedipan lampu merah dan hijau yang ada pada GTI. Kedua lampu ini menunjukkan kondisi GTI. Lampu merah berfungsi sebagai indikator bahwa GTI belum mencapai tegangan kerjanya. Sedangkan lampu hijau adalah indikator kerja MPPT. Bila lampu hijau berkedip terus-menerus, maka artinya adalah MPPT sedang bekerja mencari kombinasi tegangan dan arus yang optimal. Sedangkan kondisi lampu hijau yang telah menyala terus tanpa berkedip menunjukkan bahwa MPPT telah menemukan *maximum power point* (MPP) dan telah mengunci kerja GTI untuk bekerja pada MPP tersebut.

GTI bila diberi tegangan yang rendah, yaitu 10.5V atau lebih rendah dari itu, akan menunjukkan lampu berwarna merah saja. Sedangkan lampu hijau tidak berkedip. Hal ini berarti GTI tidak bekerja sama sekali.

Pada tegangan 10.5V hingga 15.5V GTI cenderung tidak stabil dan MPPT bekerja terus menerus untuk mencari daya maksimum. Lampu berwarna merah masih menyala, sedangkan lampu hijau terus berkedip tanpa henti.

Pada tegangan yang cukup, misalkan 16V, MPPT sudah menemukan *maximum power point* dan mengunci nilai tersebut sebagai nilai kerja GTI. Hal ini ditandai dengan lampu berwarna merah yang telah padam, sedangkan lampu hijau menyala dengan stabil. Selain itu, pada alat ukur amperemeter input dan output akan terlihat arus yang nilainya konstan.

Algoritma MPPT pada GTI ini tidak dicantumkan pada spesifikasinya. Sebagian besar GTI yang beredar di pasaran memakai algoritma *perturb and observe* (P&O). Algoritma P&O dapat dilihat pada gambar 2.10.

BAB 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis dapat disimpulkan:

1. Efisiensi GTI adalah sebagai berikut
 - a. Konfigurasi GTI 500W tunggal memiliki efisiensi daya 97% - 78% pada tegangan 13.5V-17V
 - b. Konfigurasi GTI 1000W tunggal memiliki efisiensi daya 99% - 79% pada tegangan 14V-17V
 - c. Konfigurasi GTI 1000W dan GTI 500W paralel memiliki efisiensi daya gabungan 90% - 81% pada tegangan 15V-17V
 - d. Konfigurasi dua buah GTI 500W paralel memiliki efisiensi daya gabungan 86% - 80% pada tegangan 16V-17V
2. Nilai efisiensi daya GTI 1000 lebih baik daripada GTI 500W.
3. Pada konfigurasi tunggal, arus input DC yang dibutuhkan GTI semakin besar secara linear seiring kenaikan tegangan.
4. Pada konfigurasi paralel GTI 1000W dan GTI 500W, arus input DC terbagi pada kedua GTI dengan tidak sama nilainya. Arus DC mensuplai GTI 1000W terlebih dahulu hingga mencapai nilai 10A, sedangkan GTI 500W masih belum bekerja. Setelah itu arus DC baru bisa mensuplai GTI 500W.
5. Pada konfigurasi dua buah GTI 500W, arus input DC terbagi pada kedua GTI dengan tidak merata. GTI pertama mempertahankan kinerja pada nilai arus input 4.47A-4.85A. Sedangkan arus input sisanya dialihkan pada GTI kedua dengan nilai 15.55A-17.47A.

DAFTAR REFERENSI

- [1] The Power Inverter Source <http://www.powerinverters.org/>
- [2] M.H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, London.
- [3] Guruh Srisadad. (2011). *Perancangan Simulasi Sistem Rumah Solar Cerdas Terhubung Jaringan PLN*, Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- [4] PWM Inverter
<http://www.ewh.ieee.org/soc/es/Nov1998/08/PWMINV.HTM>
- [5] Tie Inverter Schematic and Principals of Operation <http://solar.smps.tis/rld-tie-Inverter-schernatic.litml>
- [6] Yitai GTI 1000 Watt Power Inverter <http://powerelek.com/high-frequency/37-ytp-1000.html>
- [7] Sugiharto, Dame Novin. (2010). *Implementasi Algoritma Maximum Power Point Tracking pada Panel Photovoltaic Menggunakan Metode Perturb and Observe*, Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- [8] Ye, Z. Dame, M. Kroposki, B. *Grid-Connected Inverter Anti-Islanding Test Results for General Electric Inverter-Based Interconnection Technology*. 2005. NREL, USA.
- [9] Stevens, John. Bonn, Russell. *Development and testing of an Approach to Anti-Islanding in Utility-Interconnected Photovoltaic Systems*. 2000. Albuquerque.
- [10] How PV Grid-Tie Inverters Can Zap Utility Power Factor
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/10/how-pv-grid-tie-inverters-can-zap-utility-power-factor>
- [11] Moch Arief Albachrony. (2011). *Pemodelan Dan Verifikasi Karakteristik Modul Sel Surya Berbasis Labview*, Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- [12] Yitai GTI 500 Watt Power Inverter <http://www.powerelek.com/high-frequency/35-500w-pure-sine-wave-inverter.html>
- [13] GW INSTEK Digital Meter 300-400 series
<http://www.gwinstek.com/en/product/productdetail.aspx?pid=39&mid=80&id=204>

[14] Kyoritsu AC/DC Digital Clamp Meter <http://www.kew-ltd.co.jp/en/products/clampmeters/2004.html>



LAMPIRAN A

**Tabel B.1 Spesifikasi *programmable power supply* CAMTEC
HSEUIreg04801[10]**

AC Input Rating	230 Vac < 4,3 A
Rated DC Voltage	0 - 30 V
Overvoltage Protection	35 Vdc
Max. DC Current (-25o C) - (+60o C)	0 - 24 A
Max. DC Current +70o C	0 - 18 A
Ripple Peak 230 Vac 20 MHz	40 mVpp
Pmax	480 W
Accurancy	< ± 1,5 % interface
Load Regulation	< ± 0,05 % 0-100%
Efficiency 230 Vac	90% typical
Ambient Operating Temp.	(-25o C) - (+70o C)
Ambient Storage Temp.	(-40o C) - (+85o C)
Input/Output	Galvanic insulated 3000 Vac

LAMPIRAN B

Tabel C.1 Karakteristik elektrik modul PV SHARP NE-80EJEA[10]

Cell	Poly-crystalline silicon
No. of Cells and Connections	36 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	21,6 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	17,3 V
Short Circuit Current (Isc)	5,16 A
Maximum Power Current (Ipm)	4,63 A
Maximum Power (Pmax)	80W (+10% / -5%)
Module Efficiency (η_m)	12,40%
Maximum System Voltage	600 VDC
Series Fuse Rating	10A
Type of Output Terminal	Junction Box
*Standard Test Condition (STC) : 25° C, 1kW/m ² , AM 1,5	

LAMPIRAN C

Tabel D.1 Spesifikasi GTI 1000 Watt[6]

Grid-series models	YTP-1000W
Recommend use solar panels	1250Wp
DC Maximum Input Power	1000W
DC maximum voltage	V _{pv} DC30.2VDC
DC voltage range	V _{pv} 10.5V~28VDC
Maximum output power factor	99%
Maximum input current	65A
AC output power	1000W
AC maximum output power	1000W
Anti-voltage protection	Fuse
AC standard voltage range	90V-140/180~260VAC
AC frequency range	55Hz~63Hz/ 45Hz-53Hz
Output current total	THDIAC <5%
harmonic distortion	
Phase	<1%
Islanding protection	VAC;f AC
Output short circuit protection	Current-limiting
Show	LED
Installation	Wall hanging
Cooling	Fan
Standby Power	<2W
Night Power	<1W
Ambient temperature range	-25 °C~60°C
Humidity	0~99%(Indoor Type Design)
Waterproof	Indoor Type Design
Electromagnetic Compatibility	EN50081.part1 EN50082.part1
Power System Disturbance	EN61000-3-2 EN60950-1
Network test	DIN VDE 1026
N. W	2.0kg(800-1000W)
G. W	2.5kg(800—1000W)
Size (L x W x H)	31 x 16.5 x 5.5cm
Packing (L x W x H)	Inner box: 39 x 20.3 x 11.3
cm	Outer box: 42x31.5x36.5
AC Power Cord	1.8 m

Tabel D.2 Spesifikasi GTI 500 Watt[11]

Grid-series models	YTP-500W
Recommend use solar panels	620Wp
DC Maximum Input Power	600W
DC maximum voltage	VpvDC30.2VDC
DC voltage range	Vpv 10.5V~28VDC
Maximum output power factor	99%
Maximum input current	30A
AC output power	500W
AC maximum output power	500W
Anti-voltage protection	Fuse
AC standard voltage range	90V-140/180~260VAC
AC frequency range	55Hz~63Hz/ 45Hz-53Hz
Output current total harmonic distortion	THDIAC <5%
Phase	<1%
Islanding protection	VAC;f AC
Output short circuit protection	Current-limiting
Show	LED
Installation	Wall hanging
Cooling	Fan
Standby Power	<2W
Night Power	<1W
Ambient temperature range	-25 °C~60°C
Humidity	0~99%(Indoor Type Design)
Waterproof	Indoor Type Design
Electromagnetic Compatibility	EN50081.part1 EN50082.part1
Power System Disturbance	EN61000-3-2 EN60950-1
Network test	DIN VDE 1026
N. W	1.3kg (400-600W)
G. W	1.8kg (400—600W)
Size (L x W x H)	21 x 16.5 x 5.3cm
Packing (L x W x H) cm	Inner box: 30x20.3x11.3 Outer box: 42x31.5x36.5
AC Power Cord	1.8 m

Input and output

1、 DC input

* Input voltage range: 10.5V to 28V.

* Solar Panel: recommend the use of power greater than 30W, the standard voltage 17.5V PV panels.

* Recommended, and even solar panels, thread will result in high input voltage inverter which exceeds the working voltage range.

* Wind turbine: Rated voltage 24VDC, maximum voltage 28VDC.

2、 AC output :

* Output 220V AC power inverter can be used in voltage: 170V - 260V, 50 Hz

* Output 110V AC power inverter can be used in voltage range: 90V - 160V, 60 Hz

LED Indicator :

1、 Red LED :

* Low-voltage protection (input DC voltage is less than 10.5VDC).

* Overvoltage protection (Input DC voltage is greater than 28.5VDC).

* Over-temperature protection (when the chassis temperature is above 75 °C, the temperature dropped about 2-10 minutes to restart automatically after cooling).

* Fault Protection (when 110VAC or 220VAC power outage or shutdown).

* Islanding protection: electricity disconnected, the inverter automatically shut down output.

2、 Green LED :

* Green LED flashing: are adjusting power output, MPPT is working condition.

* Long bright green LED: Indicates the maximum inverter output power is in the locked state of work.

LAMPIRAN D

Spesifikasi Multimeter Digital GW INSTEK GDM-356[12]

GW INSTEK

GDM-356

General Specifications

- Maximum voltage between any Terminals and Grounding : 1000V rms.
- ⚠ Fused Protection for mA Input Terminal : 0.5A, 250V fast type, ϕ 5x20mm.
- ⚠ Fused Protection for 20A Input Terminal : Un-fused.
- Range : Manual ranging.
- Maximum Display : Display :1999.
- Measurement Speed : Updates 2~3 times/second.
- Temperature : Operating: 0°C~40°C (32°F~104°F);
Storage : -10°C~50°C(14°F~122°F).
- Relative Humidity : ≤75% @ 0°C~30°C;
≤50% @ 31°C~40°C.
- Altitude: Operating : 2000m;
Storage : 10000m.
- Battery Type : 9V NEDA1604 or 6F22 or 006P.
- Battery Deficiency : Display "0".
- Data Holding : Display "H".
- Negative reading : Display "—".
- Overloading : Display "1".
- Dimensions (HxWxL) : 165x80x38.3mm.
- Weight : Approx.275g (battery included).
- Safety/Compliances : IEC61010 CAT II 1000V overvoltage and double insulation standard.
- Certificate : CE

Accuracy Specifications(1)

Accuracy: $\pm (a\% \text{ reading} + b \text{ digits})$, guarantee for 1 year.

Operating temperature: $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Relative humidity: $<75\%$.

Temperature coefficient: $0.1 \times (\text{specified accuracy}) / 1^{\circ}\text{C}$.

A. DC Voltage

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection
200mV	100 μ V	$\pm(0.5\%+1)$	250VDC or ACrms. 1000V DC or 750V AC rms.
2V	1mV		
20V	10mV		
200V	100mV	$\pm(0.8\%+2)$	
1000V	1V		

Remark: Input impedance: 10M Ω

B. AC Voltage

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection
2V	1mV	$\pm(0.8\%+3)$	1000V DC or 750V AC rms.
20V	10mV		
200V	100mV		
750V	1V	$\pm(1.2\%+3)$	

Remarks:

- **Input impedance:** 10M Ω .
- **Frequency response:** 40Hz~400Hz.
- Display effective value of sine wave (mean value response).

Accuracy Specifications(2)

C. DC Current

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection
20mA	10 μ A	$\pm(0.8\%+1)$	0.5A, 250V fast type fuse, ϕ 5x20 mm
200mA	100 μ A	$\pm(1.5\%+1)$	
20A	10mA	$\pm(2\%+5)$	Un-Fused

Remarks:

- **At 20A Range:** For continuous measurement ≤ 10 seconds and interval not less than 15 minutes.
- **Measurement voltage drop:** Full range at 200mV.

D. AC Current

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection
20mA	10 μ A	$\pm(1\%+3)$	0.5A, 250V fast type fuse, ϕ 5x20 mm
200mA	100 μ A	$\pm(1.8\%+3)$	
20A	10mA	$\pm(3\%+5)$	Un-Fused

Remarks:

- **At 20A Range:** For continuous measurement ≤ 10 seconds and interval not less than 15 minutes.
- **Measurement voltage drop:** Full range at 200mV.
- **Frequency response:** 40Hz~400Hz
- Display effective value of sine wave (mean value response).

Accuracy Specifications(3)

E. Resistance Test

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection
200Ω	0.1Ω	±(0.8%+3)	250V DC or AC rms
2kΩ	1Ω	±(0.8%+1)	
20kΩ	10Ω		
200kΩ	100Ω		
2MΩ	1kΩ		
200MΩ	100kΩ	±[5%(reading-10)+10]	

Remarks:

- **Open circuit voltage:** ≤700mV (At 200MΩ range, it is approx. 2.8V)
- At 200MΩ range, test lead is in short circuit, and it is normal to display 10 digits. During measurement, subtract the 10 digits from the reading.

F. Frequency

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection
2kHz	1Hz	±(2%+5)	250V AC
20kHz	10Hz	±(1.5%+5)	

Remarks: Input Sensitivity: ≤200mV.

G. Temperature

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection
-40°C~0°C	1°C	±(3%+9)	250V AC
0°C~400°C		±(1%+7)	
400°C~1000°C		±(2%+10)	
-40°F~32°F	1°F	±(3%+10)	
32°F~752°F		±(1%+8)	
752°F~1832°F		±(2%+18)	

LAMPIRAN E

Spesifikasi Tang Ampere KYORITSU[13]



MINIATURE AC/DC DIGITAL CLAMP METER

KEW SNAP SERIES
MODEL 2004



**KYORITSU ELECTRICAL
INSTRUMENTS WORKS, LTD.**

2. Specifications

Ranges:	AC Current 20 A/200 A (0–19.99 A/0–199.9 A)
	AC Voltage 500 V (0–500 V)
	DC Current 20 A/200 A (0–19.99 A/0–199.9 A)
	DC Voltage 200 V (0–199.9 V)
	Resistance 200 Ω (0–199.9 Ω)
	(Open circuit voltage: Approx. 3 V Short circuit current: Approx. 0.9 mA)
Accuracy:	AC Current 0–19.99 A $\pm 1.0\%$ rdg ± 2 dgt at 50/60 Hz
	0–150.0 A $\pm 1.5\%$ rdg ± 2 dgt at 50/60 Hz
	150.1–199.9 A $\pm 3.5\%$ rdg at 50/60 Hz and 40 Hz–1 kHz
	AC Voltage 0–500 V $\pm 1.5\%$ rdg ± 2 dgt at 50/60 Hz
	$\pm 2.0\%$ rdg ± 4 dgt at 40 Hz–1 kHz
	DC Current 0–19.99 A $\pm 1.0\%$ rdg ± 2 dgt 0–150.0 A $\pm 1.5\%$ rdg ± 2 dgt 150.1–199.9 A $\pm 3.0\%$ rdg

DC Voltage 0—199.9 V $\pm 1.0\%$ rdg ± 2 dgt
Resistance 0—199.9 Ω $\pm 1.5\%$ rdg ± 2 dgt
(Above accuracies are specified for +18°C to
+28°C at 80% max. relative humidity)

Frequency Response: 40 Hz—1 kHz

Withstand Voltage: 2000 V AC max. between electrical circuit and housing case or metal section of transformer jaws

Conductor Size: Approx. 19 mm max.

Dimensions: 180 (L) \times 54 (W) \times 32 (D) mm

Weight: Approx. 170 g (battery included)

Power Source: 2 \times 1.5 V SUM-3 battery or equivalent

Accessories: (included) Test Leads Model 7066, 2 \times 1.5 V SUM battery or equivalent, carrying case, instruction manual
(optional) KEW Energizer Model 8021, KEW Multi-trans Model 8004 & 8008

Operating Principle: Dual Integration system

Display: 3-1/2 digit liquid crystal display with maximum reading of 1999

Range Selection: Manual

Low Battery Indication: "B" sign shows

Overrange Indication: Numeral "1" appears on highest digit (except 500 V AC range)