

Perancangan Sistem *Grid Tie Inverter* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya

SITI SAODAH, SRI UTAMI

Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung
Email : ss_herlina@yahoo.com

Received 18 Desember 2018 | *Revised* 3 Januari 2019 | *Accepted* 9 April 2019

ABSTRAK

Grid Tie Inverter (GTI) merupakan inverter yang digunakan untuk mengubah energi yang dihasilkan panel surya berupa arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Keluaran dari GTI berupa bentuk gelombang sinusoidal yang masih belum ideal dan mempunyai nilai Total Harmonic Distortion (THD) di atas 3% serta nilai efisiensi belum mencapai 90%. Pengurangan nilai THD dan peningkatan efisiensi dapat dilakukan melalui proses kontrol switching pada inverter. Penelitian ini mengusulkan inverter dengan boost converter dua tahap, buck converter dua tahap, rangkaian switching control inverter, H-Bridge inverter dan rangkaian LC filter. Teknik switching dari inverter yang diusulkan terdiri dari kombinasi modulasi lebar pulsa sinusoida dan gelombang persegi. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai THD sebesar 4,97%. Terdapat selisih sebesar 1,97% dari nilai awal perancangan. Untuk efisiensi rata-rata inverter off-grid (tidak terkoneksi dengan PLN) sebesar 89,48% dan 79,4% untuk inverter on-grid (terkoneksi dengan PLN).

Kata kunci: *GTI, boost converter, buck converter, switching control, grid, THD.*

ABSTRACT

Grid Tie Inverter (GTI) is an inverter used to convert energy resulted by solar panels in the form of direct current (DC) to alternating current (AC). The output of GTI is unideal sinusoidal and having Total Harmonic Distortion (THD) above 3% and efficiency below 90%. Reducing the THD value and increasing efficiency can be done through switching control process on inverters. This research proposed an inverter using two-stage boost converter, two-stage buck converter, an inverter switching control circuit, H-Bridge inverter and LC filter circuit. The switching technique of the proposed inverter system combined sinusoidal and square wave width modulation. The result showed THD of the proposed system is 4.97%, and still, there is a difference of 1.97% of the desired value. For average efficiency of off-grid systems (not connected with State Electricity Company/PLN) is 89.48% and 79.4% for on-grid systems (connected with PLN).

Keywords: *GTI, boost converter, buck converter, switching control, grid, THD*

1. PENDAHULUAN

Grid tie Inverter (GTI) adalah *inverter* yang bekerja secara langsung dari panel surya tanpa melalui sumber *backup*, selain itu juga dapat digunakan secara bersama dengan penyedia jaringan listrik utama Perusahaan Listrik Negara (PLN).

Untuk mendapatkan kinerja *Grid Tie Inverter* (GTI) yang baik diperlukan daya keluaran dari panel surya yang maksimum dan gelombang keluaran dari *Grid Tie Inverter* (GTI) harus berbentuk gelombang sinusoidal murni. Panel surya memiliki kelemahan dimana daya keluarannya tergantung kepada kondisi radiasi matahari. Ketika cahaya matahari redup, arus keluaran modul surya bisa *drop* secara drastis, sehingga daya keluarannya tidak digunakan secara maksimal. Untuk mendapatkan daya keluaran *inverter* digunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dengan topologi *Buck-Boost Converter* dimana rangkaian tersebut akan memaksa modul surya mengeluarkan daya maksimalnya ketika radiasi matahari tidak maksimal (Amri, 2015) (Utami, 2018) (Utami,S, 2017) (Setyabudy, 2012)

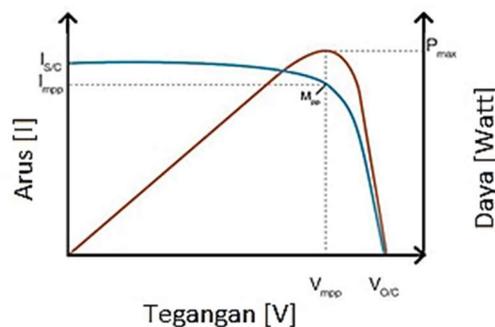
Salah satu kendala penggunaan *Grid Tie Inverter* (GTI) adalah keluarannya belum berbentuk sinusoidal murni. Performansi keluaran *Grid Tie Inverter* (GTI) salah satunya direpresentasikan oleh nilai *Total Harmonic Distortion* (THD). Pemanfaatan teknik *switching inverter* diketahui dapat meminimalkan nilai THD *inverter*. Pembangkitan sinyal sinusoidal telah dilakukan penelitiannya oleh Rashid dan Chakraborty Sajib (Rashid, 2011) (Chakraborty Sajib, 2013) dengan memanfaatkan *Pulse Wave Modulation* (PWM). Sedangkan Widaringtyas menggunakan sinyal segitiga dan sinyal kotak untuk pembangkitan sinyal sinusoidal (Widaringtyas, 2010).

Dalam penelitian ini dilakukan perancangan sistem *inverter* yang dapat digunakan sebagai *Grid Tie Inverter* (GTI) yang dapat digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Performansi sistem dinilai dari nilai efisiensi dan nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) untuk mengetahui kesesuaian hasil perancangan dengan standar yang berlaku.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Panel Surya

Panel sel surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Panel sel surya menghasilkan arus yang digunakan untuk mengisi baterai. Panel sel surya terdiri dari *photovoltaic*, yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) arus listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Dengan menambah panel sel surya (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil tertentu pula. Daya yang dihasilkan oleh panel surya maksimum diukur dengan besaran *Wattpeak* (Wp), yang konversinya terhadap *Watthour* (Wh) tergantung intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan panel (GTI-Series-Inverter User Manual, 2010). Daya yang dikeluarkan oleh panel surya adalah daya panel dikalikan lama penyinaran. Panel surya dapat menghasilkan arus dari tegangan yang berbeda-beda. Grafik kurva V terhadap I pada Gambar 1, menjelaskan keadaan sebuah Sel Surya yang beroperasi secara normal. Sel Surya akan menghasilkan energi maximum jika nilai V_{mp} dan I_{mp} juga maximum. Sedangkan I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol, I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. V_{oc} adalah volt maximum pada nilai arus nol, V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan sel surya untuk mengisi baterai/accu.

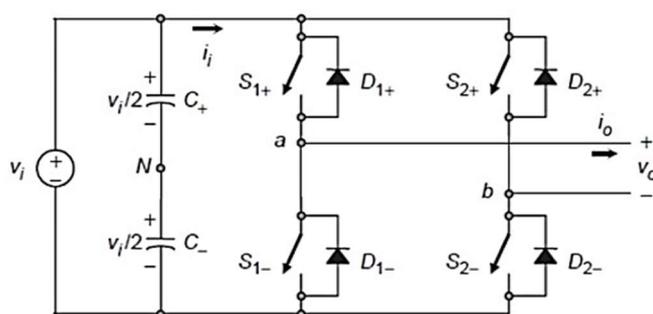


Gambar 1. Kurva V-I Panel Surya

2.2 Inverter

Inverter adalah konverter tegangan arus searah (DC) ke tegangan bolak-balik (AC). Fungsi dari sebuah *inverter* adalah untuk mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC yang simetris dengan besar magnitudo dan frekuensi yang diinginkan. Tegangan keluaran dapat bernilai tetap atau berubah-ubah pada frekuensi tetap atau berubah-ubah. Tegangan keluaran yang berubah-ubah dapat diperoleh dengan memvariasikan tegangan masukan DC dan menjaga penguatan *inverter* bernilai tetap. Sebaliknya jika tegangan masukan DC tetap dan tidak terkontrol, tegangan keluaran yang berubah-ubah dapat diperoleh dengan memvariasikan penguatan dari *inverter*. Variasi penguatan *inverter* biasanya diperoleh dengan menggunakan pengendali *Pulse-Width-Modulation* (PWM) dan *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) yang ada di dalam *inverter* (C. L. Chen, 2010) (M. Saghaleini, 2011)

Bentuk gelombang keluaran dari sebuah *inverter* ideal seharusnya berupa gelombang sinusoidal murni. Namun demikian, bentuk gelombang keluaran *inverter* tidak berupa gelombang sinusoidal murni dan memuat harmonisa. Harmonisa dapat dieliminasi dengan pemasangan *filter* dan dengan teknik *switching*.



Gambar 2. Skema Pensaklaran *Inverter* Gelombang Penuh

Rangkaian *inverter* memerlukan dua buah kapasitor untuk menghasilkan titik N agar tegangan pada setiap kapasitor $v_i/2$ dapat dijaga konstan (Gambar 2). Terdapat dua sisi sakelar, yaitu: sakelar S_{1+} dan S_{1-} serta S_{2+} dan S_{2-} . Masing-masing sisi sakelar ini, sakelar S_{1+} dan S_{1-} dan atau S_{2+} dan S_{2-} , tidak boleh bekerja secara serempak/ simultan, karena akan terjadi

hubung singkat rangkaian. Kondisi ON dan OFF dari kedua sisi sakelar ditentukan dengan teknik modulasi, dalam hal ini menggunakan prinsip PWM (**Seaful Sulun, 2012**).

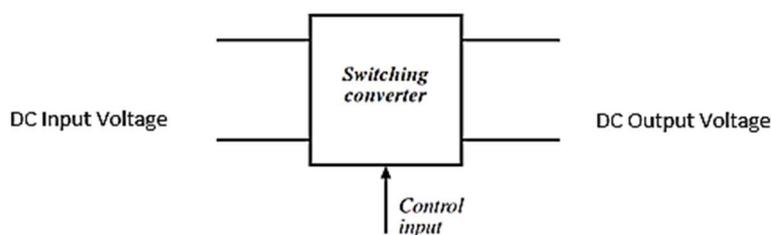
Untuk menghasilkan tegangan keluaran (V_o) satu fasa, terdapat lima kondisi jika sakelar S_{1+} , S_{1-} , S_{2+} , dan S_{2-} dioperasikan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ;

Tabel 1. Lima Kondisi Sakelar Ketika Dioperasikan

Kondisi Ke-	Kondisi	V_{aH}	V_{bH}	V_o	Komponen yang Aktif
1	S_{1+} & S_{2-} On dan S_{1-} & S_{2+} Off	$V_i/2$	$-V_i/2$	V_i	S_{1+} & S_{2-} jika $i_o > 0$ D_{1+} & D_{2-} jika $i_o < 0$
2	S_{1-} & S_{2+} On dan S_{1+} & S_{2-} Off	$-V_i/2$	$V_i/2$	$-V_i$	D_{1-} & D_{2+} jika $i_o > 0$ S_{1-} & S_{2+} jika $i_o < 0$
3	S_{1+} & S_{2+} On dan S_{1-} & S_{2-} Off	$V_i/2$	$V_i/2$	0	S_{1+} & D_{2+} jika $i_o > 0$ D_{1+} & S_{2+} jika $i_o < 0$
4	S_{1-} & S_{2-} On dan S_{1+} & S_{2+} Off	$-V_i/2$	$-V_i/2$	0	D_{1-} & S_{2-} jika $i_o > 0$ S_{1-} & D_{2-} jika $i_o < 0$
5	S_{1-} - S_{2-} - S_{1+} - S_{2+} Off	$V_i/2$	$V_i/2$	$-V_i$	D_{1-} & D_{2+} jika $i_o > 0$ D_{1+} & D_{2-} jika $i_o < 0$

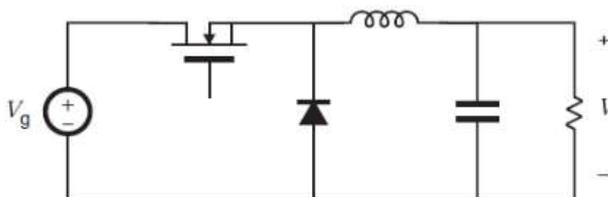
2.3 DC – DC Konverter

Konverter DC-DC adalah rangkaian elektronika daya untuk mengubah suatu masukan tegangan DC menjadi keluaran tegangan DC yang nilai tegangannya bisa lebih besar atau lebih kecil dari tegangan masukannya. Dasar dari DC-DC konverter terdiri dari tiga topologi yaitu *buck converter* , *boost converter* , dan *buck boost converter*.



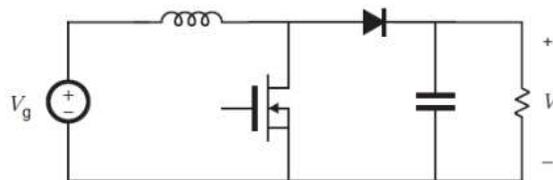
Gambar 3. DC-DC Converter

Buck converter adalah konverter DC-DC dimana tegangan keluarannya lebih kecil dari pada tegangan masukannya (penurun tegangan).



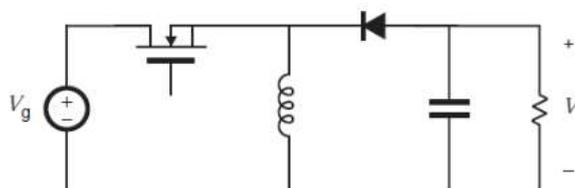
Gambar 4. Rangkaian Buck Converter

Boost Converter adalah konverter DC-DC dimana tegangan keluarannya lebih besar dari pada tegangan masukannya (penaik tegangan).



Gambar 5. Rangkaian *Boost Converter*

Buck-Boost converter adalah konverter DC-DC dimana tegangan keluarannya dapat diatur lebih kecil atau lebih besar dari pada tegangan masukannya (penurun dan penaik tegangan).



Gambar 6. Rangkaian *Buck-Boost Converter*

2.4 Parameter Performa *Inverter*

Keluaran *inverter* masih memuat harmonisa sehingga gelombangnya belum sinusoidal murni. Kualitas dari *inverter* dapat dianalisis melalui parameter berikut ini ;

Effisiensi merupakan perbandingan antara *output* dengan *input*. Nilai efisiensi dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (1)$$

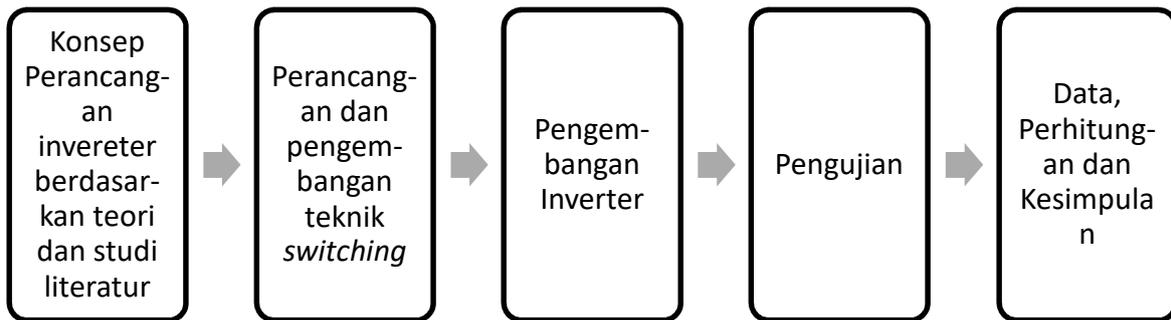
Distorsi Harmonisa Total (THD) adalah ukuran kemiripan bentuk antara sebuah gelombang dan komponen fundamentalnya yang didefinisikan oleh Persamaan (2).

$$THD = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{n=2,3..}^{\infty} V_n^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

3. METODE PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

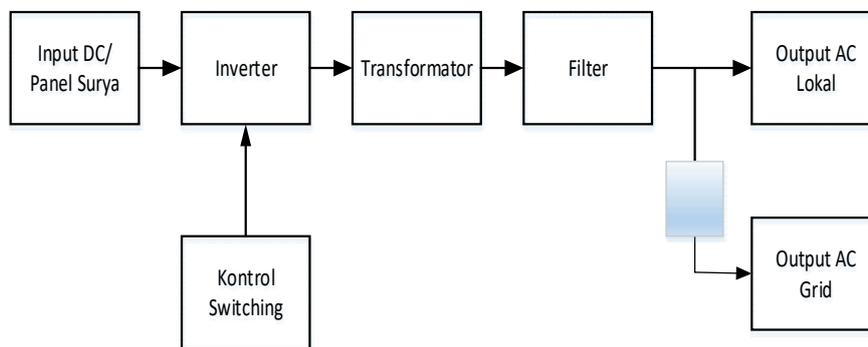
3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini diawali dengan studi literatur, perancangan dan pengembangan teknik *switching*, simulasi, pengujian hasil perancangan dan pengolahan data hasil pengujian.



Gambar 7. Langkah-Langkah Perancangan Sistem

Komponen-komponen dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terdiri dari panel surya, *inverter*, transformator, *filter* dan beban.



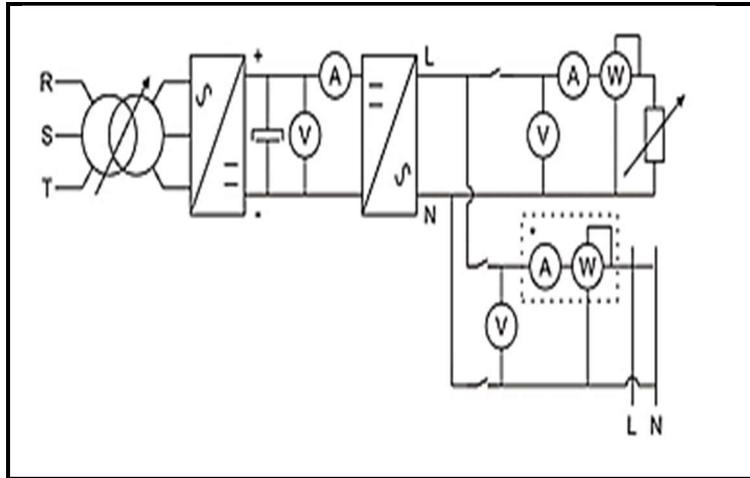
Gambar 8. Blok Diagram Sistem yang Diusulkan

Rangkaian sistem *inverter* terdiri atas *boost converter*, rangkaian *switching*, *inverter H-bridge*, transformator, *filter* LC dan relay. *Inverter* yang mengubah tegangan DC rendah menjadi tegangan AC rendah melalui *switching* dengan frekuensi tinggi (21 kHz) lalu tegangan AC tersebut dinaikkan menjadi tegangan 220 V dengan menggunakan transformator *step up* dengan frekuensi rendah (50 Hz). Tabel 2 menunjukkan spesifikasi dari masing-masing komponen.

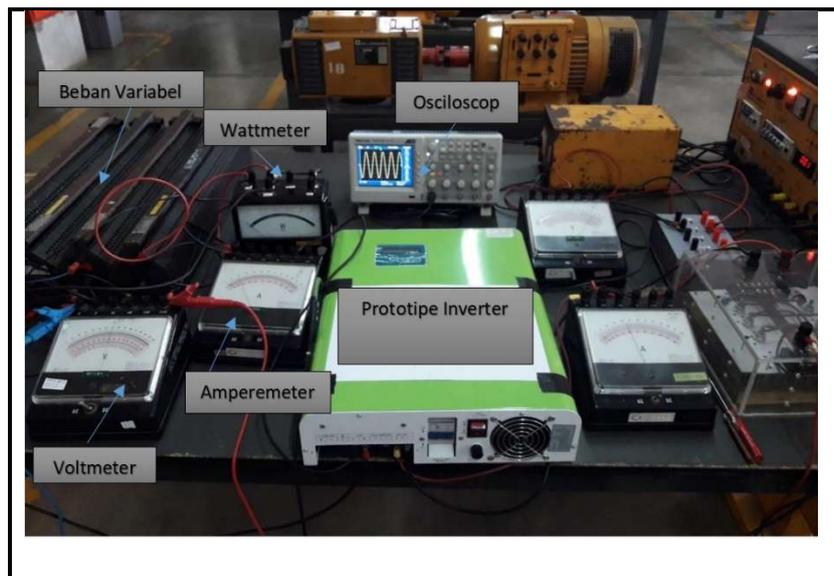
Tabel 2. Spesifikasi Peralatan

Komponen	Parameter	
Switching Inverter	Gelombang Trigger	6 Volt
	Frekuensi	21 KHz
	Duty Cycle	0,72
	Tegangan Output	12 Volt
Inverter	Daya Input DC	550 Watt
	Tegangan Input DC	21 -38 Volt
	Arus Input	10 - 22 Amp
	Daya Output AC	500 Watt
	Tegangan Output AC	180 - 260 Volt
	Arus Output AC	2,2 Amp
	THD	≤ 3%
	Effisiensi	94%

Pengujian sistem *inverter* dilakukan secara dua tahap, tahap pertama melalui simulasi dan tahap kedua pengujian sistem yang dibebani dengan beban resistif. Gambar 9 menunjukkan rangkaian pengujian pembebanan *inverter*.



Gambar 9. Rangkaian Pengujian Pembebanan *Inverter*

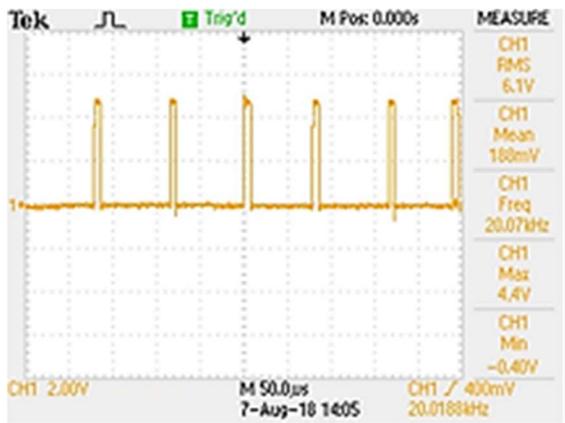


Gambar 10. Realisasi Pengujian Pembebanan *Inverter*

Gambar 10 menunjukkan realisasi pengujian *inverter* yang dilakukan dengan menggunakan *artificial* sumber DC, yang diambil dari sumber PLN 3 fasa yang kemudian dijadikan sumber DC 1 fasa yang besarnya berkisar antara 23 sampai 28 volt. Pengujian ini membutuhkan peralatan diantaranya: *autotrafo* 3 fasa, *rectifier* 3 fasa, 1 buah kapasitor polar 2200 μF , voltmeter 3 buah, amperemeter 3 buah, wattmeter 2 buah dan 3 buah *rheostat* yang dihubungkan secara seri.

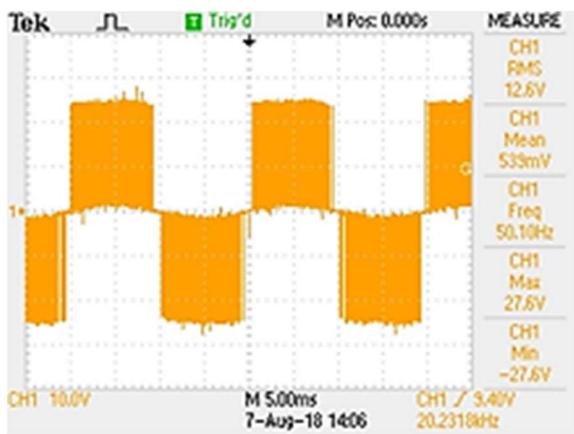
3.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan

Pengujian *inverter* bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan batasan-batasan dari *inverter*.



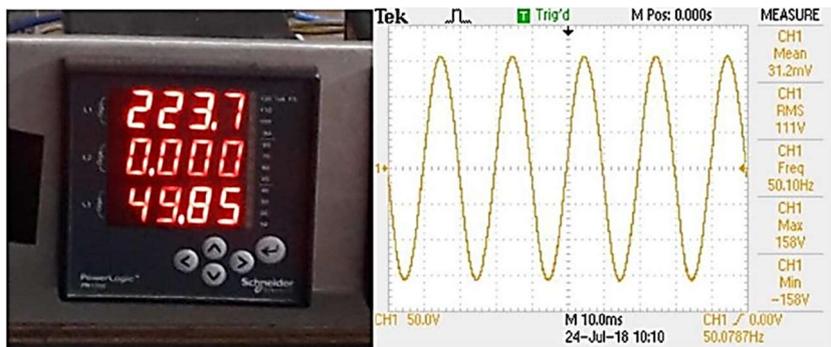
Gambar 11. Gelombang *Trigger Inverter*

Gambar 11 menunjukkan gelombang *trigger* MOSFET berupa gelombang pulsa sebesar 6,1 volt dengan frekuensi 20 kHz. Gelombang ini didapatkan dari rangkaian *buck-boost converter* 2 tahap yang merupakan rangkaian *switching* MOSFET. Gelombang tegangan yang dihasilkan sudah sesuai dengan yang dirancang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 12. Gelombang Keluaran *Inverter*

Gambar 12 menunjukkan gelombang keluaran *inverter* yang terdiri dari 4 buah MOSFET yang dipasang secara *H-Bridge*. Besar tegangan keluaran *inverter* sudah sesuai dengan yang dirancang yaitu sebesar 12,6 Volt AC dengan frekuensi 50 Hz seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Gelombang keluaran *inverter* berbentuk sinusoidal yang masih terdistorsi.



Gambar 13. Besar Tegangan Keluaran *Inverter* dan Gelombang Keluaran *Inverter*

Gambar 13 menunjukkan besar tegangan keluaran *inverter* sebesar 220 Volt setelah dinaikkan oleh transformator. Dengan pemasangan *filter* LC, bentuk tegangan keluaran *inverter* sudah berbentuk sinusoidal.

Pengujian disisi input *inverter* dilakukan dengan mengukur arus, tegangan dan daya dengan memvariasikan beban resistif (tahanan geser) sebanyak 3 buah yang dipasang secara seri. Kenaikan beban menunjukkan peningkatan nilai resistansi dari 110 Ω sampai dengan 276 Ω . Data hasil pengujian *input inverter* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian *Input Inverter*

No	Pengujian	Masukan		
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	Tanpa beban	28,00	1,60	44,80
2	Beban 1	23,00	9,60	220,80
3	Beban 2	26,00	9,80	254,80
4	Beban 3	28,00	11,20	313,60
5	Beban 4	27,00	13,80	372,60
6	Beban 5	25,00	17,00	425,00
7	Beban 6	28,00	17,60	492,80
8	Beban 7	27,00	20,20	545,40

Arus *input inverter* (DC) semakin besar dengan bertambahnya beban. Dengan semakin besarnya arus *input* maka daya *input inverter* semakin besar. *Inverter* dibebani sampai mencapai 545.4 Watt.

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian *inverter* secara berdiri sendiri (*off-grid*). Tegangan keluaran *inverter* (*output*) sudah cukup stabil, nilainya berada dikisaran 218 sampai 221 volt. Arus *ouput* maksimum mencapai 2 Amp. Daya *output inverter* mencapai 420 Watt. Walaupun sudah menggunakan *filter* tetapi nilai THD masih cukup besar. Dari Tabel 4 diketahui bahwa THD tegangan yang dihasilkan oleh *inverter* berkisar antara 1.23 % sampai 1.32 % dengan nilai rata-rata sebesar 1.27 %. Nilai THD arus yang dihasilkan oleh *inverter* cukup besar, nilainya berkisar antara 2.23% sampai 4.06 % dengan nilai rata-rata sebesar 3.32 %. Pemilihan jenis *filter* yang tepat sangat diperlukan untuk menurunkan nilai THD, terutama THD arus.

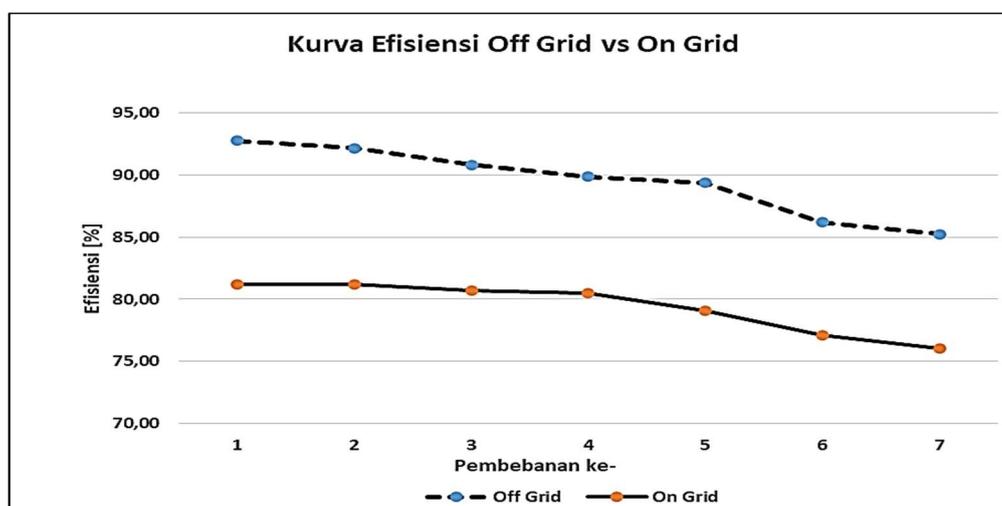
Tabel 4. Data Hasil Pengujian Keluaran *Inverter* Beban Lokal (*Off Grid*)

No	Pengujian	Keluaran					
		Tegangan (V)	Arus (A)	Cos ϕ	Daya (W)	THD V (%)	THD I (%)
1	Tanpa beban	221,30	0,00	-	0,00	0,00	0,00
2	Beban 1	220,70	0,80	0,91	160,00	1,23	3,19
3	Beban 2	220,30	1,00	0,86	190,00	1,27	2,79
4	Beban 3	220,00	1,20	0,91	240,00	1,28	3,49
5	Beban 4	219,90	1,40	0,94	290,00	1,28	4,06
6	Beban 5	219,60	1,60	0,95	335,00	1,24	3,89
7	Beban 6	219,20	1,80	0,96	380,00	1,28	3,60
8	Beban 7	218,90	2,00	0,96	420,00	1,32	2,23

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian keluaran *inverter* yang dikoneksikan dengan PLN (*on-grid*). Tegangan keluaran *inverter* (*output*) berada dikisaran 219,6 sampai 221,30 volt. Arus *output* maksimum mencapai 2 Amp. Daya *output inverter* mencapai 354 Watt. THD tegangan yang dihasilkan oleh *inverter* berkisar antara 1.15% sampai 1.27% dengan nilai rata-rata sebesar 1,08%. Nilai THD arus yang dihasilkan oleh *inverter* cukup besar, nilainya berkisar antara 2,72% sampai 12.66% dengan nilai rata-rata sebesar 4,97%. Nilai THD ini cukup besar walaupun sudah menggunakan *filter*. Pemilihan jenis *filter* yang tepat sangat diperlukan untuk menurunkan nilai THD, terutama THD arus.

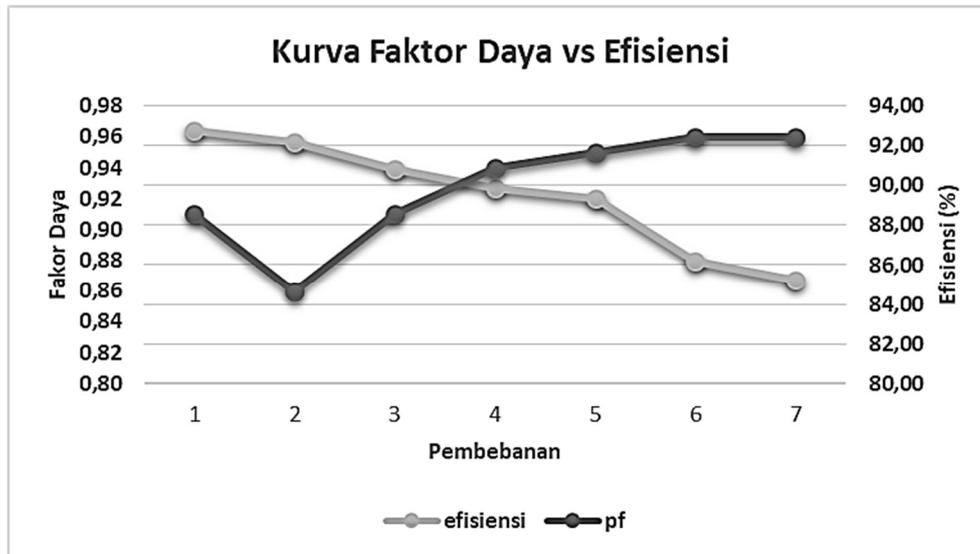
Tabel 5. Data Hasil Pengujian Keluaran *Inverter On-Grid*

No	Pengujian	Keluaran					
		Tegangan (V)	Arus (A)	Cos ϕ	Daya (W)	THD V (%)	THD I (%)
1	Tanpa beban	221,30	0,00	-	0,00	0,00	0,00
2	Grid Beban 1	221,00	0,70	0,89	135,46	1,23	12,69
3	Grid Beban 2	221,30	0,90	0,85	161,53	1,27	5,42
4	Grid Beban 3	220,50	1,10	0,86	208,28	1,15	7,54
5	Grid Beban 4	220,00	1,30	0,83	243,74	1,23	2,92
6	Grid Beban 5	219,90	1,50	0,84	280,93	1,19	5,77
7	Grid Beban 6	219,60	1,80	0,86	329,90	1,24	2,69
8	Grid Beban 7	219,00	2,00	0,82	354,20	1,32	2,73



Gambar 14. Kurva efisiensi Terhadap Pembebanan

Gambar 14 menunjukkan hasil pengujian *inverter* secara *off-grid* dan *on-grid* dengan memvariasikan beban yang bersifat resistif. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai efisiensi semakin menurun dengan penambahan beban. Nilai efisiensi *inverter* yang bekerja *off-grid* berkisar antara 85,22 % sampai 92,75%, dengan efisiensi rata-rata sebesar 89,48%. Sedangkan Nilai efisiensi *inverter* yang bekerja *on-grid* berkisar antara 76,01% sampai 81,20%, dengan efisiensi rata-rata sebesar 79,40%. Nilai efisiensi *inverter* yang bekerja secara *on-grid* lebih kecil dibandingkan dengan *inverter off-grid*, hal ini disebabkan oleh pengaruh proses sinkronisasi dan faktor daya. Nilai efisiensi ini masih dibawah nilai efisiensi perancangan. Dalam perancangan awal, nilai efisiensi yang diinginkan sebesar 94%.



Gambar 15. Kurva Faktor Daya Terhadap Efisiensi

Gambar 15 menunjukkan hasil pengujian dari *inverter* yang dibebani dengan beban resistif dengan nilai faktor daya (pf) berkisar antara 0,86 sampai 0.96. Nilai efisiensi berbanding terbalik dengan nilai faktor daya (pf). Ketika faktor daya naik maka nilai efisiensi akan turun, hal ini disebabkan daya *output* naik.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian maka dapat ditarik beberapa kesimpulan ;

1. Tegangan keluaran *buck-boost converter* yang merupakan trigger MOSFET sebesar 6 volt. THD yang dihasilkan pada kondisi *off-grid* sebesar 1,27% untuk THD tegangan dan 3,32% untuk THD arus. THD yang dihasilkan pada kondisi *on-grid* sebesar 1,08% untuk THD tegangan dan 4,97% untuk THD arus.
2. Dari hasil pengujian dengan memvariasikan beban, maka efisiensi rata-rata *inverter off-grid* sebesar 89% dan 79% untuk *inverter on-grid*. Nilai efisiensi ini masih di bawah nilai yang dirancang yaitu 94%. Oleh karena itu, penelitian akan dilanjutkan dengan mengkombinasikan nilai komponen yang paling efektif untuk menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi.
3. Daya *input inverter* sebesar 540 Watt dan daya *output inverter* sebesar 420 Watt.
4. Penggunaan *inverter off-grid* disarankan kurang dari 80% kapasitasnya sehingga daya *input inverter* tidak akan berada di titik maksimum yang rawan terjadi kerusakan.
5. Penggunaan *inverter* secara *on-grid* disarankan kurang dari 70 % kapasitasnya karena apabila lebih dari itu akan beresiko terjadi kerusakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih juga untuk Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Ristekdikti yang telah membiayai penelitian tahun 2018. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (UPPM) Politeknik Negeri Bandung yang telah mendorong, menginisiasi dan mendidik peneliti-peneliti muda untuk berkembang dan mengikuti perkembangan penelitian di Indonesia maupun dunia

DAFTAR RUJUKAN

- Ario Amri.(2015).Perancangan dan Realisasi Solar Charge Controller MPPT dengan Topologi Buck Converter untuk Charger Handphone. *Laporan Tugas Akhir*, 10 – 35.
- C. L. Chen, Y. Wang, J. S. Lai, Y. S. Lee, D. Martin. (2010). *IEEE Transaction on Power Electronic*, 25(1), 13 – 20.
- Chakraborty Sajib. (2013). *Design of a Transformer less Grid Tie Photovoltaic Inverter Using Dual Stage Buck and Boost Converters*. Department of Electrical and Electronic Engineering: Bangladesh.
- GTI-Series-Inverter User Manual. (2010). *Mini Solar Grid Connected Inverter*.
- M. Saghaleini, A.K. Kaviani, B. Hadley, B. Mirafzal. (2011). *New trends in photovoltaic energy systems*. 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), (pp. 10 – 23).
- Rashid. Muhamad H. (2011). *Power Electronic: Circuits, Devices, and Application (3rd ed)*. New Jersey: Prentice Hall.
- Seaful Sulun. (2012). Analisis Pengaruh Penyambungan Grid Tie Inverter terhadap Harmonisa Sistem Saat Terhubung Beban pada Jaringan TR. *Skripsi*, 1 – 25.
- Setyabudy. Setiawan. Hartono. Budiyanto. (2012). Peningkatan Kinerja Grid Inverter pada Jaringan Listrik Mikro Saat Kondisi Islanding dengan Penambahan Perangkat UPS. *Jurnal Ilmiah Elite Elektro*, 3(2), 125 – 131.
- Utami,S. (2017). Implementasi Algoritma Perturb and Observe untuk Optimasi Daya Keluaran Solar Cell Menggunakan MPPT di Laboratorium Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Infotel*, 3(1),5 – 17.
- Utami,S. Saodah. Pudim. (2018). Penggunaan Algoritma Incremental Conductance pada MPPT dengan Buck Converter untuk Pengujian Indoor dan Outdoor. *Jurnal ELKOMIKA*, 6(1), 97 – 109.
- Widaringtyas. Eka, M.,Nurussa'adah. (2017, 27 Juni). *Inverter 15 VDC – 220 VAC Berbasis Tenaga Surya untuk Aplikasi Single Point Smart Grid*. Retrieved from www.sciencedirect.com.