

Perancangan, Simulasi dan Analisis Harmonisa Rangkaian Inverter Satu Fasa

Faizal Arya Samman¹, Rizkiyanti Ahmad², Mutiah Mustafa³

Abstract— This paper presents the design, simulation and harmonic analysis of a one-phase inverter circuit. The impacts of the used passive filter and the used of snubber on the quality of the voltage output of the one-phase inverter, which used full-bridge configuration, were described in this paper. The passive LC filter using the combination of an inductor and capacitor was configured in parallel with the load, such that the voltage output waveform can be modified from modulated pulse waveform into purely sinusoidal waveform. The total harmonic distortion (THD) of the voltage output can be well reduced by using such LC passive filter. The circuit was designed and modeled in SPICE program code, then simulated and analysed. The result shows that the use of Zener Diode as a circuit snubber is able to improve the power characteristic and voltage magnitude of the designed inverter as compared to commonly used Diode.

Intisari— Paper ini menampilkan hasil rancangan, simulasi dan analisis harmonisa dari rangkaian inverter satu-fasa. Pengaruh penggunaan filter pasif dan pemanfaatan snubber terhadap kualitas tegangan keluaran inverter jembatan penuh (*full bridge*) satu fasa ditunjukkan dalam paper ini. Filter pasif yang digunakan berupa kombinasi komponen induktor (L) dan kapasitor (C) yang dirangkai paralel terhadap beban dengan tujuan memperbaiki bentuk tegangan keluaran inverter dari bentuk gelombang kotak menjadi gelombang sinusoidal. Sehingga, total distorsi harmonisa dapat direduksi dengan baik hanya dengan menggunakan filter pasif tersebut. Rangkaian dirancang dan dimodelkan dalam kode program SPICE, kemudian disimulasi dan dianalisa. Dibandingkan dengan Dioda biasa, penggunaan Snubber berupa dioda zener dapat memperbaiki karakteristik daya dan magnitudo tegangan keluaran inverter.

Kata Kunci— Full bridge inverter 1 fasa, filter pasif LC, Total Harmonic Distortion, PSPICE

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi surya mulai dikembangkan dengan dibuatnya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terutama di Indonesia yang merupakan daerah tropis dengan potensi penyinaran sepanjang tahun sebagai upaya pemenuhan kebutuhan listrik yang semakin meningkat. Sistem PLTS memiliki beberapa tahapan konversi energi hingga akhirnya dapat disalurkan dan digunakan untuk pemenuhan kebutuhan listrik, salah satu tahapan tersebut adalah pengkonversian energi dari bentuk DC (Direct Current) ke bentuk AC (Alternating Current) yang dilakukan oleh sebuah unit konverter daya yang dikenal dengan nama Inverter.

Inverter tidak hanya digunakan pada PLTS namun juga

¹F.A. Samman, Universitas Hasanuddin, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar, 90245 (e-mail:faizalas@unhas.ac.id)

^{2,3}Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar 90245 INDONESIA (tel: 0411-584693, Fax 0411-586015, e-mail: teknikuh@indosat.net.id)

banyak digunakan untuk mengkonversi energi listrik DC dari sumber-sumber lain seperti generator DC, Aki ataupun dari sumber AC yang mengalami dua kali pengkonversian energi. Sistem pembangkit listrik tenaga angin juga menggunakan inverter untuk menghasilkan arus listrik bolak-balik yang siap dihubungkan ke jaringan/grid tenaga listrik.

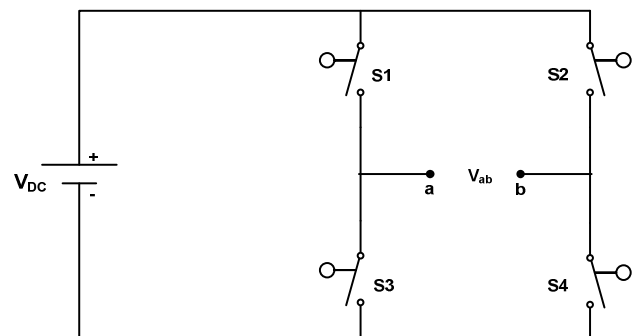
Inverter saat ini tidak lagi sulit untuk diperoleh. Namun demikian, inverter tersebut masih memiliki kekurangan baik dari harga maupun daya keluaran serta kualitas dari inverter itu sendiri. Isu-isu menarik dalam mendesain inverter adalah efisiensi, faktor daya dan harmonisa. Penelitian ini mengkaji dua isu tersebut, yaitu isu faktor daya dan harmonisa yang dapat mengurangi kesempurnaan bentuk sinusoidal dari keluaran tegangan maupun arus inverter.

II. INVERTER SATU FASA

Inverter DC/AC dapat direalisasikan dengan menggunakan konfigurasi transistor daya jembatan-setengah (*half-bridge configuration*) [1] atau dengan menggunakan konfigurasi jembatan penuh (*full-bridge*) [2, 3]. Inverter jembatan setengah menghasilkan keluaran AC sinusoidal yang tidak sempurna. Upaya penyempurnaan keluaran juga dapat dilakukan tetapi membutuhkan ukuran nilai induktansi pada filter pasif yang cukup besar.

Para peneliti telah melakukan beberapa perancangan untuk mendapatkan hasil terbaik melalui upaya menapis gangguan harmonik [4, 5, 6, 7, 8] di antaranya dengan menggunakan metode Z-Source Inverter yaitu menggunakan susunan impedansi yang unik untuk menghubungkan rangkaian utama dan sumber [2]. Selain itu, metode-metode konvensional misalnya Algoritma Genetika juga dapat digunakan untuk mengeliminir gangguan harmonik [9, 10, 11]. Metode konvensional ini memang cukup efektif, tetapi mekanisme pengimplementasiannya cukup kompleks dan berpotensi menghasilkan disipasi daya listrik yang cukup berarti.

Metode lain yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan teknik pensaklaran yaitu dengan menggunakan metode SPWM (Sinusoida Pulse Width Modulation) sebagai upaya eliminasi harmonik [5, 6].



Gbr. 1 Rangkaian full bridge inverter 1 fasa secara umum

Pada penelitian sebelumnya, kami telah menganalisa karakteristik berbagai jenis snubber, dimana dapat disimpulkan bahwa penggunaan dioda zener dapat memperbaiki respon tegangan keluaran inverter [3]. Paper ini menggunakan konfigurasi jembatan penuh seperti pada penelitian sebelumnya tetapi dengan memanfaatkan dioda zener sebagai komponen tunggal rangkaian snubber serta menggunakan filter LC pasif yang dapat memperbaiki kinerja inverter terutama dalam hal mengurangi distorsi harmonik total yang terdeteksi pada keluaran inverter satu fasa.

Gambar 1 merupakan salah satu jenis rangkaian inverter yaitu full bridge inverter 1 fasa. Tegangan bolak-balik (V_{ab}) pada terminal a-b dihasilkan dari kombinasi penyaklaran bersilangan, yaitu ketika S1 dan S4 "ON" selama $T/2$, arus akan mengalir dari S1 ke S4 melewati beban sehingga tegangan antara terminal a dan b akan positif ($V_{ab} = +V_S$). Ketika S2 dan S3 "ON" selama $T/2$, arus mengalir dari S2 ke S3 melalui beban sehingga $V_{ab} = -V_S$.

III. METODOLOGI

A. Isu I: Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) atau dapat ditejemahkan sebagai Distorsi Harmonik Total merupakan indeks penting yang digunakan secara luas untuk mengetahui kualitas daya listrik pada sistem transmisi dan distribusi. THD menyatakan besarnya distorsi yang ditimbulkan oleh semua komponen harmonisa.

THD dapat dinyatakan sebagai suatu nilai potensi pemanasan akibat harmonisa relatif terhadap gelombang frekuensi dasar. Perhitungan ini tidak sama untuk setiap negara, tergantung standar mana yang dipakai. Berdasarkan kesepakatan yang disepakati negara-negara di dunia, THD yang dapat diterima adalah apabila THD-nya bernilai di bawah 5% dari tegangan atau arus fundamentalnya. Apabila di atas batas tersebut maka alat elektronik tersebut tidak boleh digunakan [12, 13].

B. Isu II: Faktor Daya (Power Factor)

Faktor daya merupakan besaran yang sering digunakan untuk menunjukkan seberapa efisien jaringan yang dimiliki dalam menyalurkan daya yang bisa dimanfaatkan. Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1), berarti semakin banyak daya tampak yang diberikan sumber yang bisa dimanfaatkan. Sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0), maka semakin sedikit daya yang bisa dimanfaatkan dari sejumlah daya tampak yang sama.

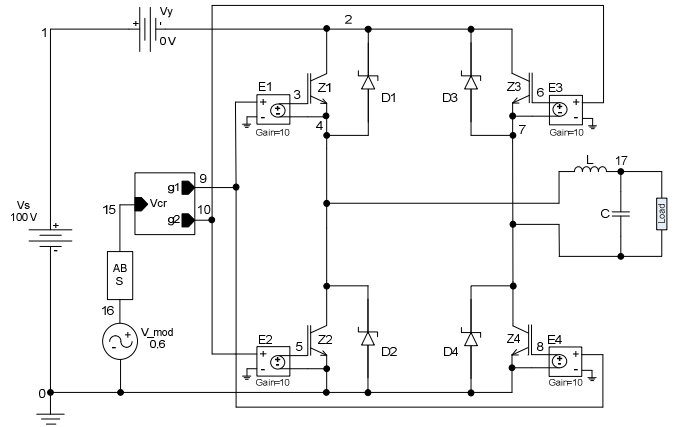
C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan isu-isu yang telah disebutkan di atas, maka paper ini akan memperlihatkan hasil analisis terhadap harmonisa dan faktor daya dari hasil rancangan rangkaian inverter satu-fasa dengan konfigurasi jembatan penuh, yang menggunakan dioda zener sebagai elemen tunggal dalam rangkaian snubber dalam inverter tersebut.

D. Metode Penelitian

Metode yang dipakai dalam penelitian adalah metode pemodelan dan simulasi rangkaian. Rangkaian yang akan dirancangan dimodelkan dalam program SPICE. Selanjutnya dengan menggunakan simulor SPICE, faktor daya dan

harmonisa dari hasil rancangan model rangkaian akan dianalisa.



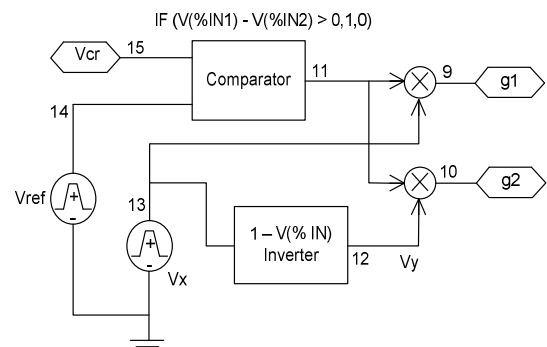
Gbr. 2 Rangkaian full bridge inverter 1 fasa.

IV. PEMODELAN DAN PERANCANGAN

Simulasi Full Bridge Inverter 1 fasa pada penelitian ini menggunakan software ORCAD PSpice A/D Light 9.1 Student Version [14]. SPICE merupakan software yang telah banyak digunakan dalam industri elektronika untuk mendesain dan menganalisa rangkaian listrik dan elektronika, termasuk rangkaian terintegrasi [15]. Rangkaian dirancang dengan menggunakan kode circuit SPICE berbasis teks. Penggunaan kode circuit SPICE ini lebih memudahkan dalam mengubah dan mengkonfigurasi simulasi rangkaian dibandingkan dengan SPICE dalam bentuk diagram skema.

A. Komponen Penyaklar Daya (Switching Device)

IGBT merupakan komponen elektronika daya yang memiliki karakteristik gabungan antara MOSFET dan transistor. Seperti MOSFET, IGBT memiliki impedansi gerbang yang tinggi sehingga arus yang diperlukan untuk mengaktifkannya kecil. Serupa dengan transistor, IGBT memiliki tegangan kondisi-ON yang kecil meskipun komponen ini memiliki rating tegangan yang besar. Kecepatan switching IGBT sangat lebih lambat dibandingkan dengan MOSFET namun IGBT memiliki kemampuan rating arus yang lebih baik. Untuk MOSFET, transisi saat menyambung (turn-on) dan memutus (turn-off) sangat cepat jika dibanding dengan IGBT sehingga sangat baik digunakan untuk penyaklaran frekuensi tinggi namun untuk kondisi penyaklaran dibawah 100KHz IGBT akan berperan lebih baik dengan kemampuan arus dan tegangan yang lebih baik dari MOSFET [16].



Gbr. 3 Skema SPWM [3].

B. Rangkaian Snubber

Snubbers adalah sirkuit yang ditempatkan di perangkat semikonduktor untuk perlindungan dan untuk meningkatkan kinerja. Rangkaian snubber dirancang untuk memodifikasi bentuk gelombang peralihan sehingga kerugian daya pun dapat dikurangi. Kerugian daya pada sakelar elektronik itu sendiri terdiri dari dua bagian yaitu pada kondisi on dan pada kondisi peralihan (switching transition) [17].

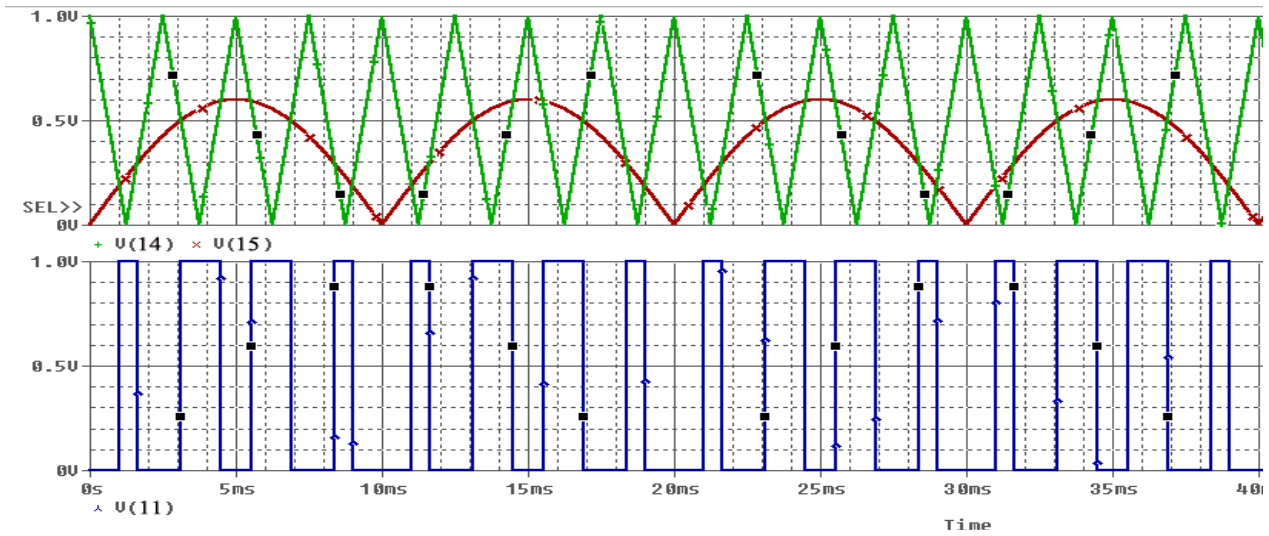
Pada waktu sakelar elektronik berkeadaan on, kerugian daya terjadi karena adanya perosotan tegangan pada sakelar elektronik yang tengah menghantarkan arus, sehingga efek dari pengalihan $V \cdot I$ tidak dapat dihindarkan. Pada kondisi peralihan, kerugian daya yang terjadi pada sakelar elektronik umumnya dikenal dengan istilah kerugian pensakelaran (switching loss). Kerugian pensakelaran terjadi karena alat pensakelaran tidak dapat mengalami transisi seketika atau

selang waktu 0 detik dari satu status ke status lainnya. Dengan kata lain, rangkaian snubber dapat menekan kondisi kilasan yang tidak diinginkan [18].

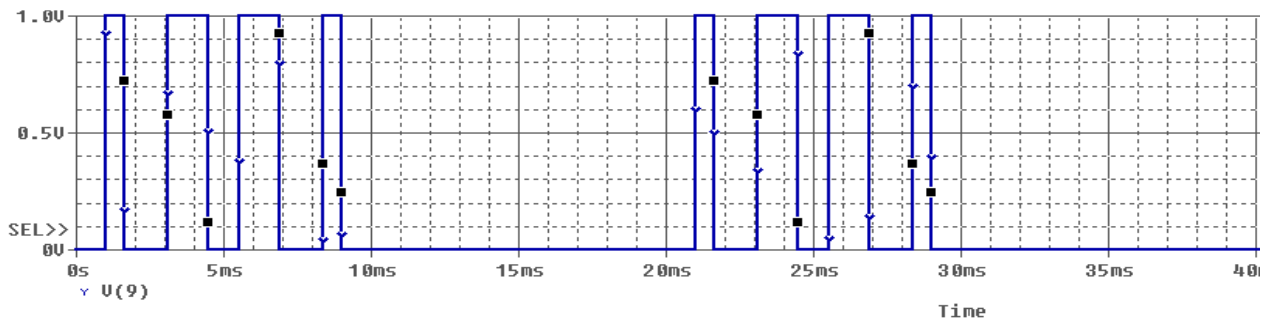
C. Rangkaian Pengendali SPWM

Fungsi utama rangkaian ini adalah mengatur mode tutup buka saklar statis sedemikian sehingga diperoleh tegangan arus bolak-balik yang tingkat harmoniknya telah dikurangi.

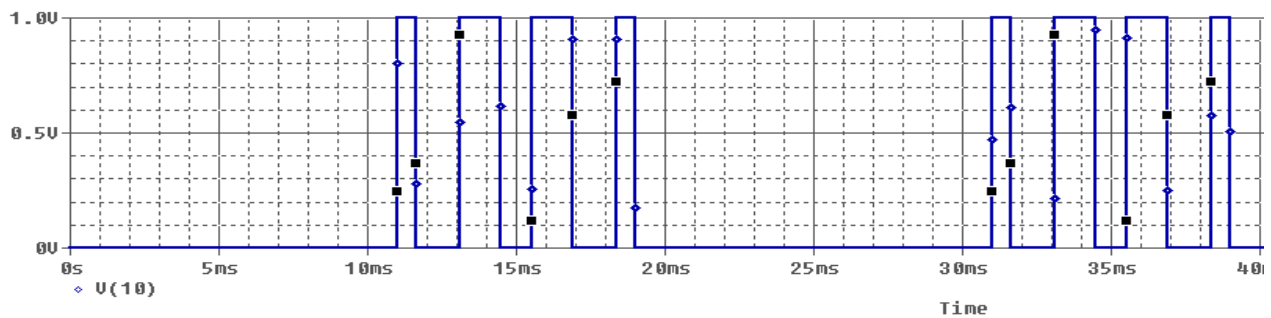
Pada teknik penyaklaran menggunakan metode switching SPWM pulsa dibangkitkan dengan membandingkan sinyal referensi (V_{ref}) dengan sebuah gelombang pembawa segitiga (V_{cr}).



Gbr. 4 Output dari komparator.



Gbr. 5 Output pada g1.



Gbr. 6 Output pada g2.

Gambar 3 menunjukkan skema SPWM dan V(11) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4 memperlihatkan hasil perbandingan antara Vref dan Vcr. Gambar 4 merupakan sebuah contoh dimana yang digunakan adalah nilai pengganti agar memudahkan dalam melihat perbandingan dari kedua sinyal dimana nilai .PARAM untuk Gambar 4 yaitu $F_{out}=50\text{Hz}$, nilai $P=4$ dan nilai $M=0.6$. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan pulsa tegangan keluaran yang disuplai dari port g1 dan port g2 dari Gambar 3.

D. Rangkaian Filter

Rangkaian filter berfungsi menghilangkan harmonik yang masih dibawa oleh tegangan bolak-balik hasil mode tutup buka saklar statis yang dihasilkan dari pengaturan rangkaian pengontrol. Filter harmonisa yang paling umum yakni filter pasif yang menyajikan impedansi yang sangat rendah pada frekuensi tuning. Fiter Pasif sebagai filter harmoisa berfungsi untuk mengurangi amplitude satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Pada frekuensi fundamental, filter dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya sistem. Selain filter pasif, terdapat pula filter aktif [4] yang dapat mengkompensasi harmonisa. Namun demikian,

dengan pertimbangan biaya desain, filter jenis ini digunakan dalam penelitian ini.

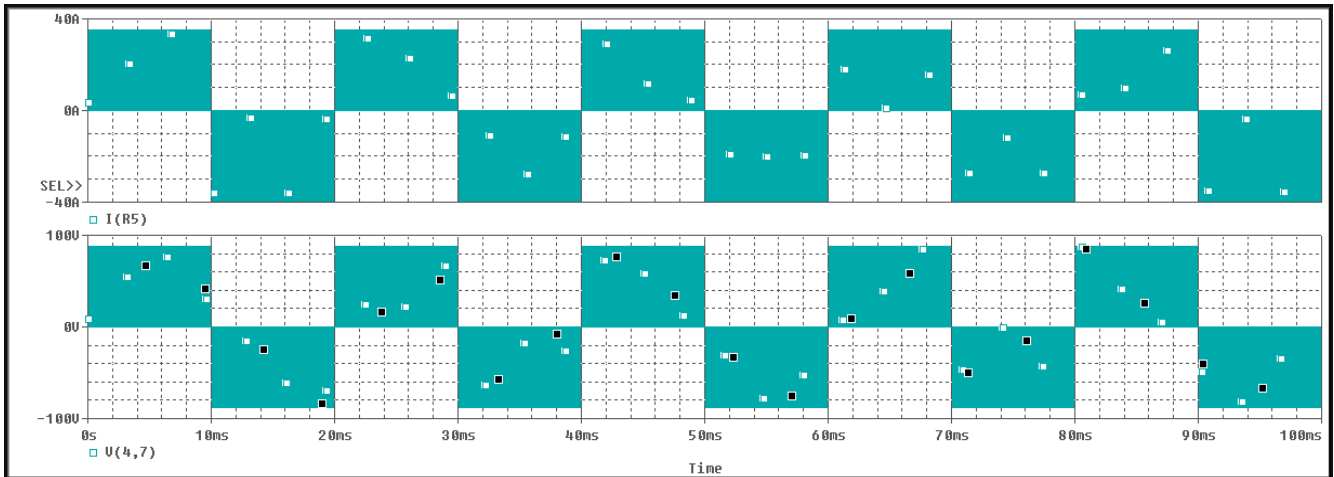
Arus harmonisa akan mengalir pada reaktansi yang lebih rendah. Dengan pemasangan filter C (kapasitor), arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melalui kapasitor karena kapasitor memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi gelombang tinggi. Maka dengan dipasangnya filter C secara paralel terhadap beban. Tegangan beban akan bebas dari harmonisa. Sedangkan filter L dipasang secara seri dengan beban sehingga arus yang mengalir melalui L akan sulit berubah berbanding lurus dengan besarnya L.

Frekuensi resonansi dari filter ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

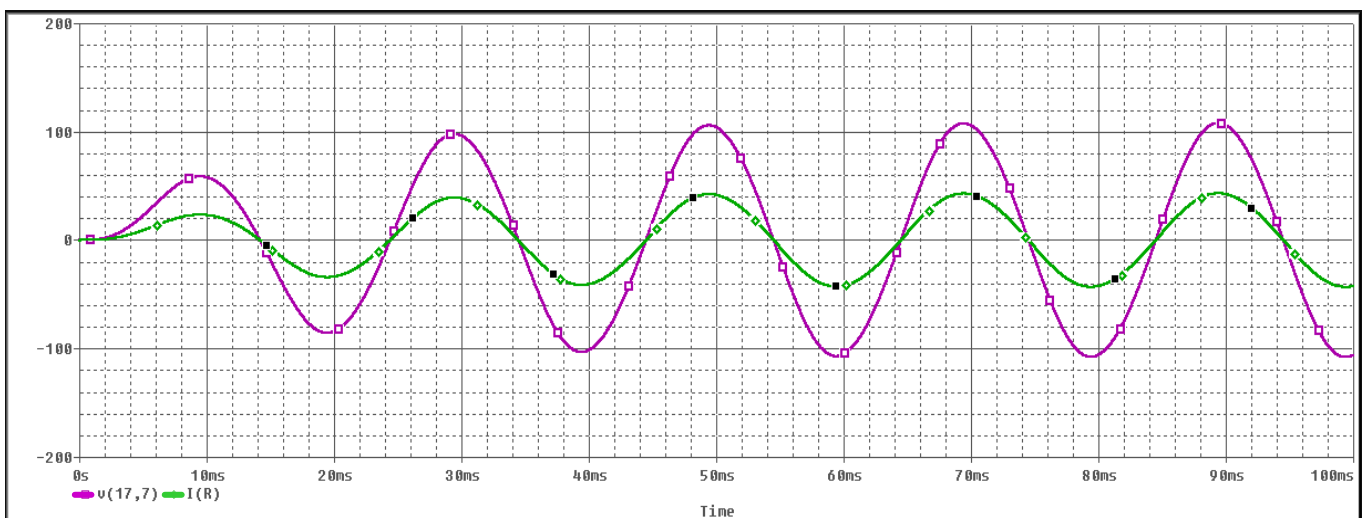
$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC} \tag{1}$$

Di mana f_0 = frekuensi resonansi (Hz), L = induktansi filter (Henry), C = kapasitas filter (Farad)

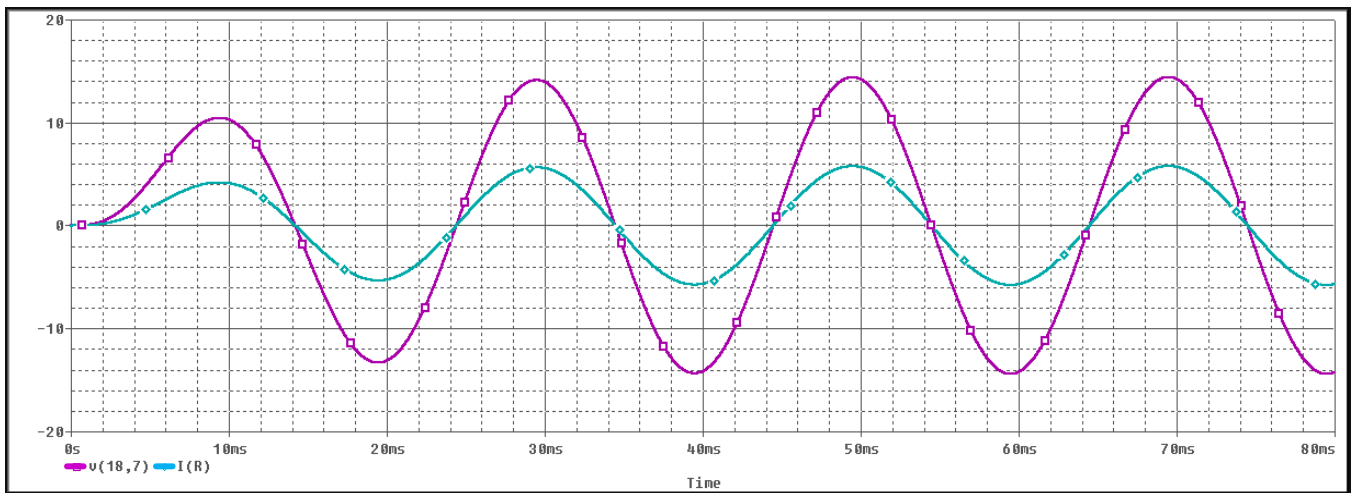
Adapun untuk melihat dampak penggunaan filter terhadap output, THD serta PF ,Vin yang digunakan yaitu 100V, dengan menggunakan dioda zener sebagai snubber, MOSFET dan IGBT sebagai komponen switching serta beban $R=2,5\Omega$ dan $L=10\text{mH}$.



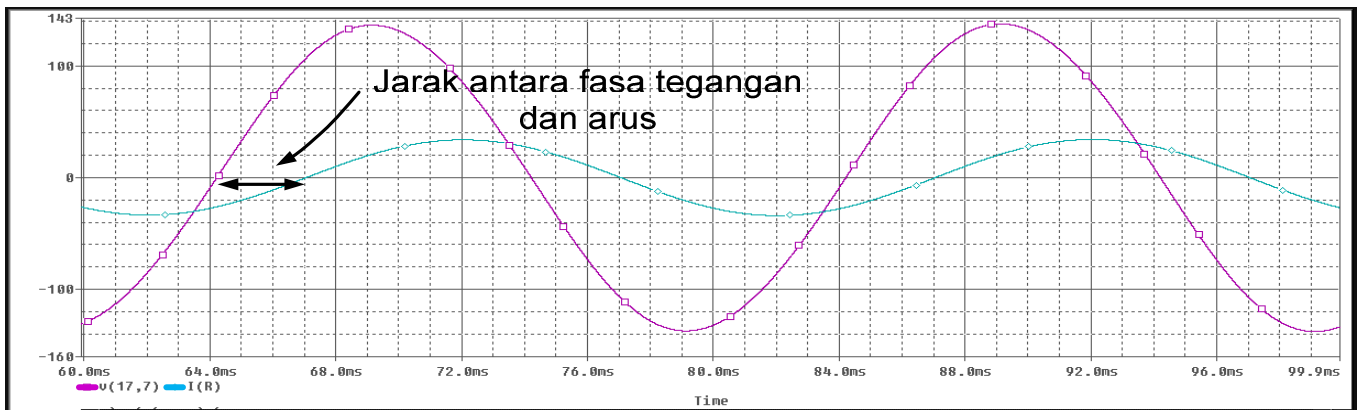
Gbr. 7 Output tegangan dan arus pada beban R tanpa filter



Gbr. 8 Output tegangan dan arus pada beban R dengan filter.



Gbr.9 Output tegangan dan arus pada beban R dengan filter menggunakan komponen switching MOSFET.



Gbr.11 Jarak antar fasa pada output beban RL.

V. HASIL DAN ANALISIS

Bentuk gelombang listrik yang baik digunakan pada peralatan listrik dan elektronika yaitu berupa gelombang sinusoidal. Sedangkan output dari full bridge inverter 1 fasa seperti pada Gambar 7 berupa gelombang persegi. Oleh sebab itu dibutuhkan tambahan rangkaian filter pada rangkaian inverter agar output inverter yang dihasilkan berupa gelombang sinusoidal seperti terlihat pada Gambar 8.

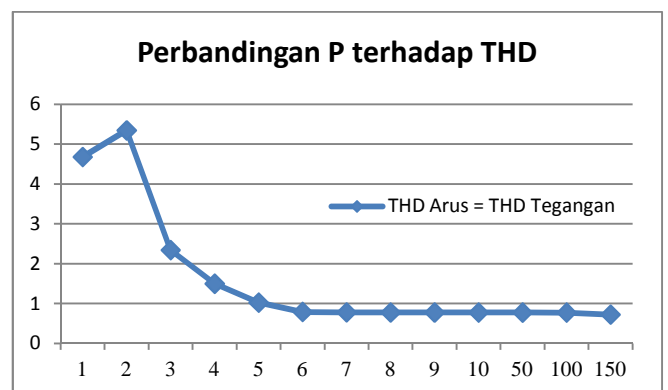
Terlihat output gelombang yang dihasilkan setelah dipasang filter pada rangkaian berupa gelombang sinusoidal murni dengan nilai tegangan sebesar 107 V serta arus 43 A, dimana hasilnya lebih baik dibandingkan output gelombang sebelum pemasangan filter berupa gelombang persegi dengan tegangan 88 V dan arus sebesar 35 A.

Pada rangkaian inverter, switching device yang sering digunakan adalah MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) [12] dan IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). Terlihat perbandingan yang sangat drastis dari output full bridge inverter menggunakan IGBT (Gambar 8) dan MOSFET (Gambar 9). Besarnya tegangan dan arus output yang dirasakan oleh beban mengalami penurunan yang sangat besar dari tegangan input (100 V). Terlihat tegangan dan arus yang dirasakan beban akibat penggunaan MOSFET sebagai komponen switchingnya mengalami penurunan drastis (tidak

sampai 15 Volt) dibandingkan dengan output yang dihasilkan jika menggunakan IGBT sebagai komponen switching.

Hal ini diakibatkan oleh penentuan frekuensi pensaklaran (tergantung frekuensi carrier pada SPWM) pada komponen switching itu sendiri. Penentuan kecepatan switching saklar pada komponen switching memberi pengaruh terhadap nilai THD pada output. Dengan penentuan nilai frekuensi tegangan carrier yang dipilih yaitu $p=100$ (10kHz), komponen switching yang cocok digunakan yaitu IGBT karena kinerja IGBT lebih baik pada frekuensi tersebut.

Seperti terlihat pada Gambar 10 nilai THD dipengaruhi oleh kecepatan switching, dimana semakin besar nilai P (banyaknya gelombang per setengah siklus) THD arus maupun tegangan semakin kecil.



Gbr.10 Kurva perbandingan nilai P terhadap THD

Tabel 1. Perbandingan parameter output antara beban R dan RL (R=10Ω dan L=10mH)

Parameter	Beban R		Beban RL	
	Tanpa Filter	Dengan Filter	Tanpa Filter	Dengan Filter
Daya Masukan (Pi)	74,759 K	96,587 K	72,714 K	100,838 K
Daya Masukan rata-rata	50,937 K	35,920 K	49,930 K	57,140 K
Daya Keluaran (Po)	3,118 K	4,656 K	1,169 K	3,783 K
Daya Keluaran rata-rata	1,205 K	1,900 K	0,224K	1,163 K
Efisiensi (Po/Pi)	0,042	0,048	0,016	0,037
Efisiensi rata-rata	0,024	0,052	0,004	0,020
Tegangan Keluaran(Vo)	88,430 V	107,887 V	88,981 V	137,643 V
Arus Keluaran (Io)	35,330 A	43,155 A	13,253 A	34,102 A
THD Arus	0,23%	0,772%	0,32%	0,35%
THD Tegangan	0,23%	0,772%	0,75%	0,765%
Power Factor (PF)	1	1	0,647	0,633

Terlihat pada tabel 1, nilai THD arus maupun tegangan pada beban R maupun RL sudah layak digunakan karena nilai THD-nya dibawah 5%. Pada beban R nilai PF =1 karena pada beban R tidak memiliki perbedaan fasa antara tegangan maupun arusnya, sudut perbedaan fasanya yaitu $\phi=0^0$ sehingga besar nilai PF, $\cos 0^0 = 1$.

Adapun cara menghitung besar perbedaan fasanya dapat dilakukan dengan melakukan perbandingan terhadap jarak antar fasa tegangan dan arus. Dengan mengetahui frekuensi output sebesar 50 Hz, maka dapat diketahui periode gelombang yaitu selama 20 ms Sehingga diketahui untuk $\phi = 90^0$ jarak perbedaan fasanya adalah 5ms. Untuk mengukur jarak antar fasa pada beban RL, dapat digunakan perhitungan rumus :

$$\frac{5ms}{\text{jarak antar fasa}} = \frac{90^0}{\phi} \tag{2}$$

Berdasarkan hal tersebut maka besar PF pada beban RL dengan atau tanpa filter dapat diketahui. Dengan mengukur jarak fasa antara tegangan terhadap arus pada beban RL tanpa filter sebesar 2,761ms dan beban RL dengan filter sebesar

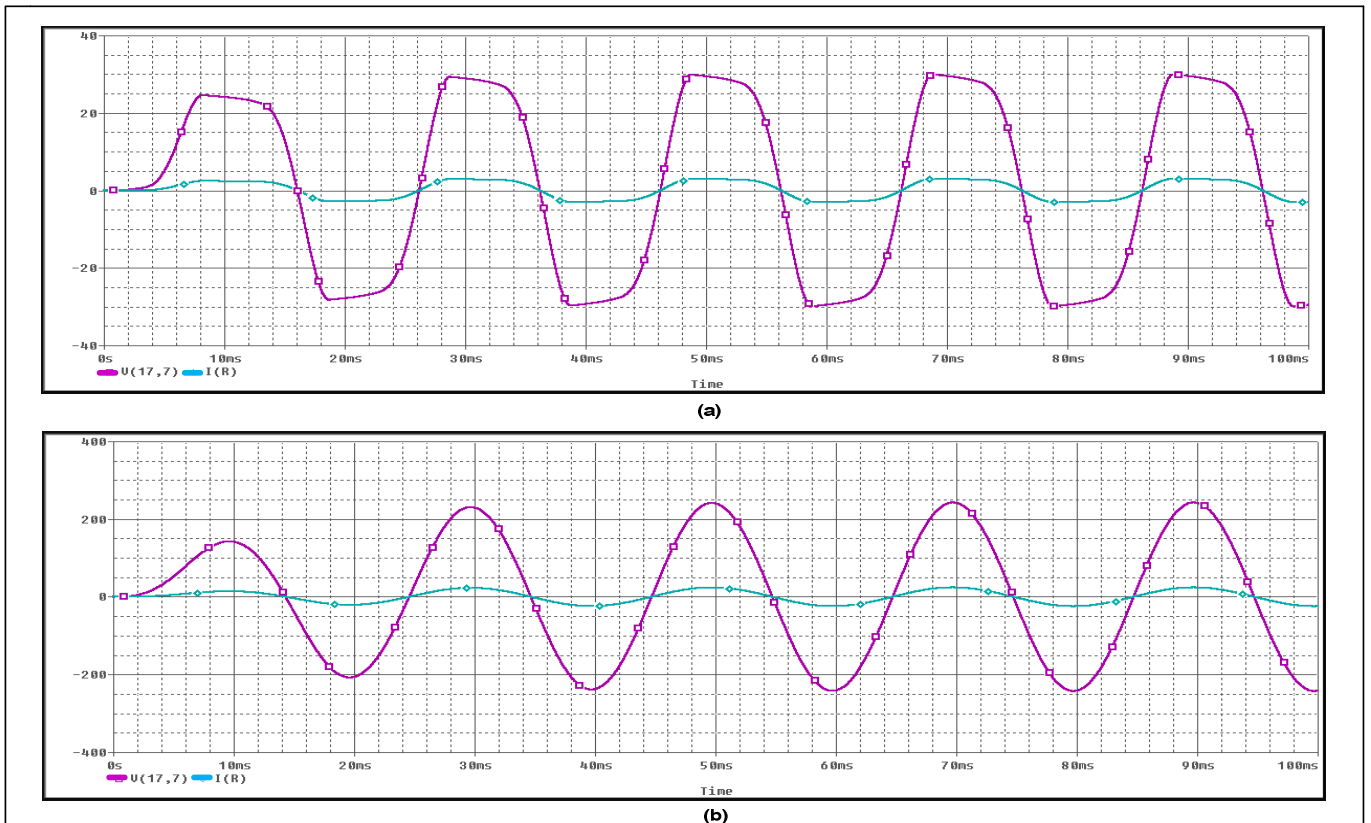
2,818 ms sehingga didapat besar PFnya sebesar 0,647 dan 0,633.

Gambar 12(a) dan 12(b) memperlihatkan hasil simulasi dari rangkaian inverter dengan jenis snubber yang digunakan masing-masing untuk dioda biasa dan dioda zener. Terlihat bahwa bahwa kinerja dari dioda zener lebih baik dibandingkan dengan dioda biasa. Dengan penggunaan dioda zener output tegangan maupun arus pada beban lebih sinusoidal dibandingkan output menggunakan dioda biasa, dengan menggunakan dioda biasa dihasilkan keluaran tegangan 29,89 V dan arus 2,9 A sedangkan dengan menggunakan dioda zener dihasilkan keluaran tegangan 242,27 V dan arus 24,23 A pada beban R=10 Ω. Hal ini dikarenakan fungsi dari dioda zener itu sendiri dimana kondisi dioda zener dapat konduk dalam dua keadaan, yaitu saat forward maupun reverse sedangkan pada dioda biasa hanya dapat konduk dalam kondisi forward, sehingga rugi-rugi pada saat pensaklaran (ON-OFF) dapat lebih diredam dengan penggunaan dioda zener sebagai snubber karena dalam kondisi ON maupun OFF pada komponen saklar arus tetap dapat dikendalikan.

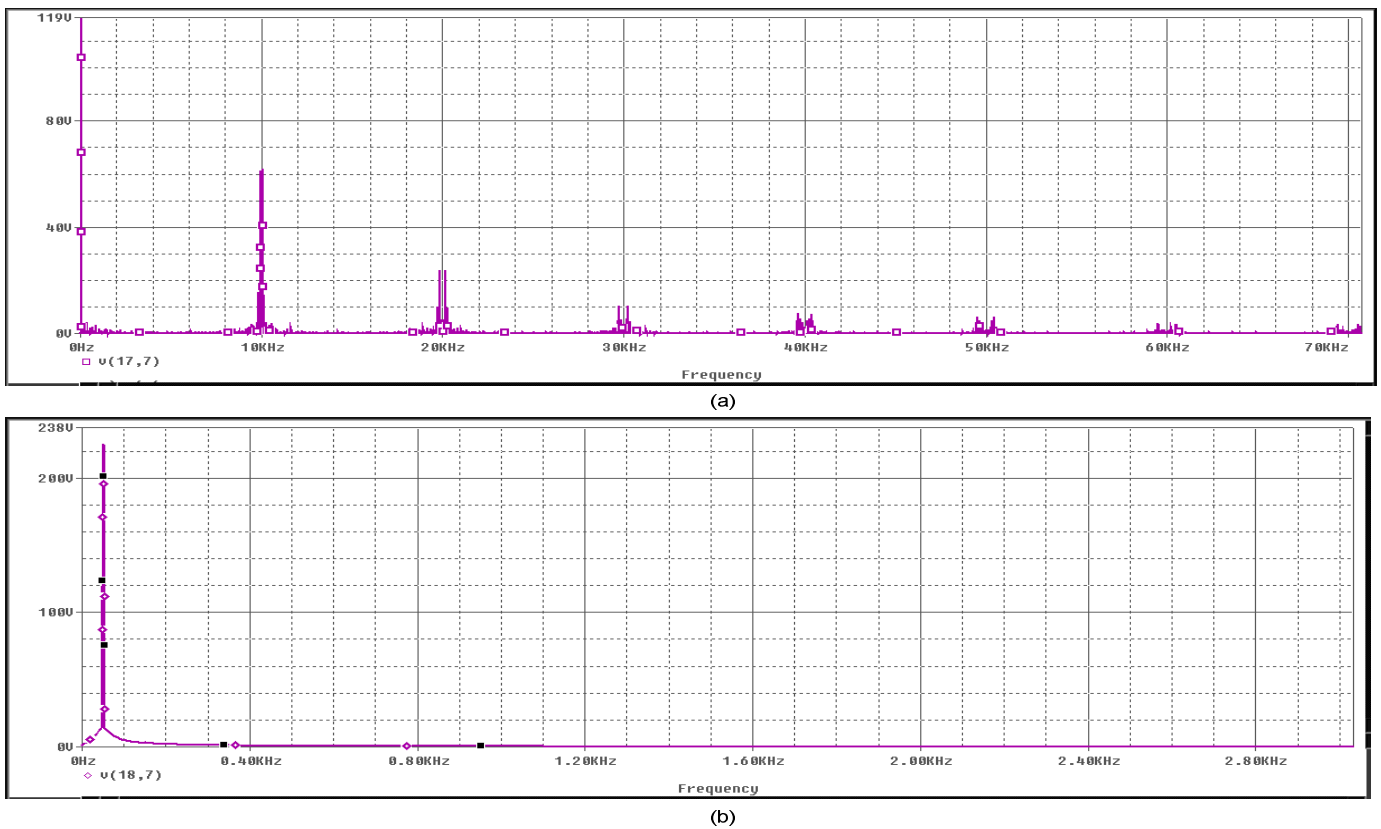
Tabel 2. Perbandingan fourier dengan dan tanpa filter.

Harmonic No	Frequency (Hz)	Fourier Component	
		Tanpa Filter V	Dengan Filter V
1	5.000E+01	1.185E+02	2.379E+02
2	1.000E+02	1.595E-01	1.499E-01
3	1.500E+02	1.480E+00	7.948E-01
4	2.000E+02	1.880E-01	3.147E-02
5	2.500E+02	2.507E+00	9.719E-02
6	3.000E+02	2.078E-01	7.066E-03
7	3.500E+02	3.929E+00	3.857E-02
8	4.000E+02	1.688E-01	1.038E-02
9	4.500E+02	1.008E+00	1.382E-02

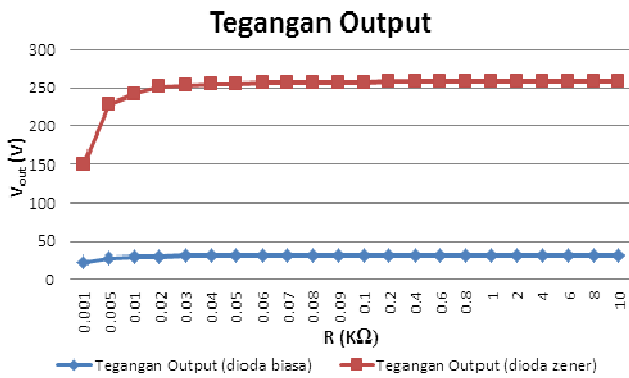
Tabel 2 memperlihatkan hasil perbandingan nilai komponen fourier pada tegangan beban dengan dan tanpa filter dimana terlihat pada masing-masing nilai harmonik nilai komponen fourier dengan filter nilainya lebih kecil dibandingkan tanpa filter. Pada Gambar 13 terlihat bahwa dengan penggunaan filter, harmonisa dapat teredam pada output dimana output tanpa filter pada Gambar 13(a) masih banyak menghasilkan harmonisa pada frekuensi-frekuensi tertentu. Sedangkan pada output dengan menggunakan filter pada Gambar 13(b), frekuensi-frekuensi tertentu dari harmonisa telah berhasil diredam .



Gbr. 12 Perbandingan tegangan dan arus pada beban R dengan menggunakan (a) dioda biasa (b) dioda zener sebagai snubber

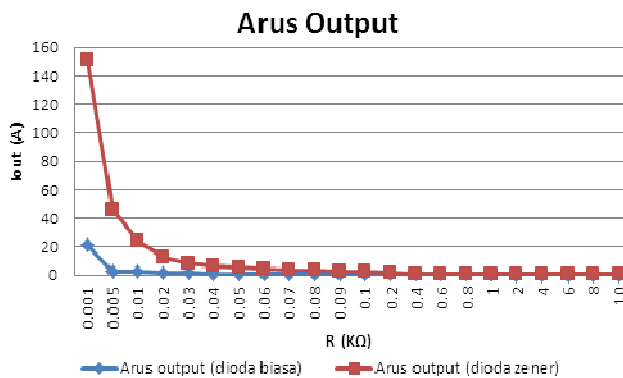


Gambar 13. Perbandingan fourier tegangan output (a) tanpa filter dan (b)dengan filter.

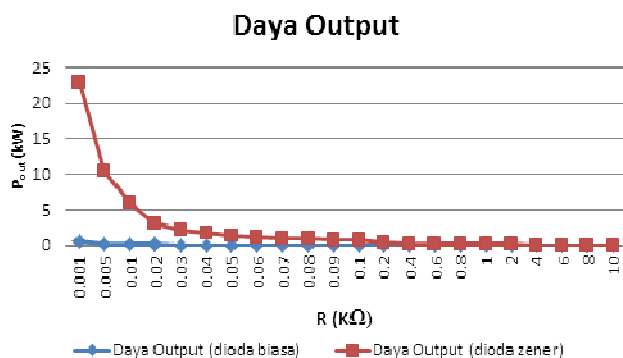


Gambar 14. Kurva perbandingan tegangan output pada beban R dengan menggunakan dioda biasa dan zener sebagai snubber.

Pada pada Gambar 14, terlihat tegangan output beban R dengan menggunakan dioda zener sebagai snubber lebih besar dibandingkan dengan menggunakan dioda biasa. Nilai tegangan dengan menggunakan dioda biasa maupun dioda zener mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan besar nilai beban resistansi (R). Sedangkan pada arus dan daya output (Gambar 15 dan Gambar 16) mengalami hal yang berkebalikan dengan tegangan dimana terjadi penurunan nilai dengan bertambahnya nilai beban ($P_{out} = V_{out} \times I_{out}$).



Gambar 15. Kurva perbandingan arus output pada beban R dengan menggunakan dioda biasa dan zener sebagai snubber



Gambar 16. Kurva perbandingan daya output dengan menggunakan dioda biasa dan zener sebagai snubber terhadap kenaikan nilai beban.

Tabel 3. Perbandingan parameter output terhadap pengaruh beban dan snubber.

Parameter	Dioda Biasa		Dioda Zener	
	R	RL	R	RL
V _{out} (V)	29.54	30.3	242.27	246.36
I _{out} (A)	2.96	2.91	24.23	23.49
P _{out} (kW)	0.087	0.086	5.87	5.65

Tegangan, arus serta daya output yang dihasilkan dengan penggunaan beban R=10Ω dan beban RL seri dengan L=10mH dapat dilihat pada tabel 3 dimana dengan penggunaan beban RL seri nilai tegangan lebih besar dibandingkan dengan beban R, namun output arus serta daya lebih kecil. Tabel 3 juga menunjukkan penggunaan snubber dioda zener hasilnya jauh lebih besar dibandingkan dengan menggunakan dioda biasa baik pada tegangan, arus maupun daya output.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.

Perancangan rangkaian full bridge inverter satu-fasa dengan menggunakan tambahan rangkaian filter pasif LC dapat menghasilkan output rangkaian berupa gelombang sinusoidal (AC). Komponen-komponen switching yang digunakan adalah IGBT dan Dioda Zener sebagai elemen rangkaian snubbernnya. Penggunaan komponen switching IGBT lebih baik daripada MOSFET terhadap output keluaran dikarenakan frekuensi kecepatan saklar yang diberikan dari SPWM sebesar 10kHz lebih cocok pada frekuensi kerja IGBT. Kecepatan switching pada komponen IGBT menentukan besar THD pada output rangkaian, semakin besar frekuensi kecepatan switching nilai THD semakin kecil. Penggunaan dioda zener sebagai snubber lebih baik dibandingkan dioda biasa, hal ini dikarenakan oleh sifat konduksi dioda zener. Dioda zener dapat konduk dalam dua kondisi (forward dan reverse), sehingga pada saat pensaklaran komponen switching, rugirugi yang ditimbulkan dapat teratasi.

Nilai THD yang dihasilkan oleh rangkaian full bridge inverter 1 fasa dengan penggunaan filter maupun tanpa filter adalah tidak melebihi 1%, karena pemberian frekuensi switching yang baik sehingga menghasilkan nilai THD yang kecil. Dengan nilai THD arus maupun tegangan dibawah 1% mengakibatkan rancangan full bridge inverter 1 fasa sudah layak digunakan pada peralatan (standard maksimum THD yang diterima 5%).

Selain itu, nilai Faktor Daya (*Power Faktor - PF*) yang dihasilkan masih belum memenuhi syarat standard yang diberikan oleh PLN yaitu > 0.85. Penelitian selanjutnya akan memperbaiki nilai faktor daya ini.

B. Saran-saran untuk Penelitian Lanjut.

Penelitian ini menyisakan pekerjaan yang dapat dilanjutkan di masa datang. Pada pembuatan hardware ke depan, pembangkitan sinyal pulsa PWM sebaiknya menggunakan CPLD/FPGA sebagai pengganti mikrokontroler, karena dalam riset ini selain frekuensi kerja

yang digunakan adalah frekuensi switching sebesar 10 kHz pengiriman pulsa PWM dapat dilakukan secara serempak dengan menggunakan CPLD/FPGA.

Selain itu, perbaikan nilai PF (*power-factor*) otomatis pada inverter yang digunakan pada beban-beban yang berubah secara dinamis merupakan kajian yang sangat menarik dilakukan di masa yang akan datang.

REFERENSI

- [1] Tint S. Win, Y. Baba, M. Okamoto, E. Hiraki, and T. Tanaka "A Half-Bridge Inverter Based Active Power Quality Compensator with a DC Voltage Balancer for Electrified Railways", IEEE PEDS, pages 185-190, 2011.
- [2] Rashid Muhammad H, Hasan MR. PSpice For Power Electronics and Electric Pocer. New York:Taylor & Francis Group. 2006.
- [3] Faizal A. Samman, Rizkiyanti Ahmad, Mutiah Mustafa. "Penapisan Harmonisa Rangkaian Inverter menggunakan Snubber", Jurnal Ristek (Riset Teknik Elektro), vol. 2, no.2, Desember 2013.
- [4] Peng Fang Zheng. "Z-Source Inverter", IEEE Transaction On IndustryAplication, vol. 39, N0.2, pp. 504-510, March/April. 2003.
- [5] Sukmawidjaja Maulana. Eliminasi Harmonik Guna Perbaikan Bentuk Gelombang Keluaran Tegangan Inverter. JETri, Volume 6, Nomor 1, Halaman 9-32, ISSN 1412-0372. Agustus 2006.
- [6] [6] Sutikno Tole, dkk. Pembangkit Sinyal PWM Sinusoida Dua Fasa Berbasis FPGA. Tesis. Univesitas Gadjah Mada. 2004.
- [7] Li Li, D. Czarkowski, Y. Liu, and P. Pillay, "Multilevel Selective Harmonic Elimination PWM Technique in Series-Connected Voltage Inverters", IEEE Transaction on Industry Applications, vol. 36, no. 1, pages 160-170, Jan/Feb. 2000.
- [8] BurakOzpineci, L. M. Tolbert, and J. N. Chiasson, "Harmonic Optimization of Multilevel Converters Using Genetic Algorithms", IEEE Power Electronics Letter, pages 1-4, 2005.
- [9] Ozpineci, J. O. P. Pinto, and L. M. Tolbert, "Pulse-width optimization in a pulse density modulated high frequency AC-AC converter using genetic algorithms," in Proc. IEEE Int. Conf. Systems, Man, and Cybernetics, 2001, pp. 1924-1929.
- [10] A. I. Maswood, S.Wei, and M. A. Rahman, "A flexible way to generate PWM-SHE switching patterns using genetic algorithms," in Proc. IEEE Applied Power Electronics Conf. Expo., 2001, pp. 1130-1134.
- [11] M.J. Schutten and D. A. Torrey, "Genetic algorithms for control of power converters," in Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf., 1995, pp. 1321-1326.
- [12] Alexander, Marc T Thompson. "Power Quality in Electrical System", The Mc-Graw Hills Componies, New York. 2007.
- [13] De La Rosa, Francisco C. "Harmonics And Power Systems", Taylor & Francis Group, Francis. 2006.
- [14] Tuinenga Paul W. Spice A Giude to Circuit and Analysis Using PSpice. New Jersey: Prentice Hall.
- [15] Cadence, "PSpice Reference Guide". Cadence Design Systems. 2000.
- [16] Sunomo. Power MOSFET dan IGBT, Piranti Elektronika yang Saling Bersaing di Bidang Elektronika Daya. 17 Desember 2013. <http://www.elektroindonesia.com> .
- [17] Rudy Serverns. "Design of Snubbers For Power Circuits", Diakses pada 7 Januari 2014. www.cde.com/tech/design.pdf.
- [18] Tiara Ananta. "Disain Rangkaian Snubber pada Sistem Power Switching Menggunakan MOSFET". Tugas Akhir, Universitas Indonesia, Depok. 2009..
- [19] Rakhmawati, Renny, dkk, "Penggunaan Filter Daya Aktif Paralel untuk Kompensasi Harmonisa". Skripsi, Universitas Hasanuddin. Makassar. 2007.