

Rancang Bangun Bipolar SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) Pada Beban Non Linier Pada Inverter 1 Phase

Achmad Marzuki,MT, Ramli,MT,Bangbang Hermanto,MT

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

Email: ¹mzkachmad@gmail.com

Abstrak

Menghasilkan sebuah bentuk gelombang Sinusoidal murni sangat penting didalam sistem penyaluran energi listrik. Tulisan ini berhubungan dengan Rancang bangun sebuah Inverter yang memiliki bentuk keluaran tegangan sinusoidal dengan menggunakan Teknologi SPWM (Sinusoidal Pulse width Modulation). Hal yang paling esensial didalam teknologi SPWM adalah pemilihan jenis SPWM (Bipolar, Unipolar, atau lainnya) untuk menghasilkan bentuk sinyal Switching yang digunakan untuk menghasilkan Saklar On dan Off secara benar didalam sebuah rangkaian H-Bridge. Rancang bangun SPWM Inverter ini diawali dengan Disain Sinyal Generator yang akan mengeluarkan 4 buah sinyal switching pada Rangkaian H-Bridge. Sinyal-sinyal generator tersebut akan dikendalikan oleh sebuah kontroller yang mengatur kendali timing pada sinyal generator. Keluaran arus H-bridge tersebut akan dikirim ke sebuah Transformator Step-Up untuk menghasilkan sebuah gelombang tegangan dan arus sinusoidal. Untuk mengetahui kinerja Inverter jenis SPWM ini akan diuji dengan pemberian beban yang bersifat Non-linier yaitu beberapa kombinasi lampu LEDs. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bentuk keluaran gelombang pada inverter SPWM ini menghasilkan bentuk sinusoidal murni pada saat tanpa beban, tetapi saat berbeban bentuk gelombangnya sedikit mengalami perubahan bentuk akibat adanya harmonisa yang dibangkitkan oleh beban Non-linier.

Kata kunci : SPWM, Bipolar, dan THD.

Abstract

Generating a pure Sinusoidal waveform is very important in the electrical energy distribution system. This paper deals with the design of building an inverter that has a sinusoidal voltage output using SPWM (Sinusoidal Pulse width Modulation) Technology. The most essential thing in SPWM technology is the selection of SPWM types (Bipolar, Unipolar, or other) to produce the form of Switching signal that is used to produce the On and Off Switch correctly in an H-Bridge circuit. The design of the SPWM Inverter begins with the Signal Generator Design which will issue 4 switching signals on the H-Bridge Circuit. The generator signals will be controlled by a controller that controls the timing control of the signal generator. The output of the H-bridge current will be sent to a Step-Up Transformer to produce a sinusoidal voltage and current. To find out the performance of this type of SPWM Inverter will be tested by giving a Non-linear load that is a combination of LEDs. The test results show that the output waveform on this SPWM inverter produces a pure sinusoidal form at no load, but when the waveform is loaded the shape changes slightly due to the harmonics generated by Non-linear loads.

Keywords : Renewable Energy, MPPT, modul XL4015.

1.PENDAHULUAN

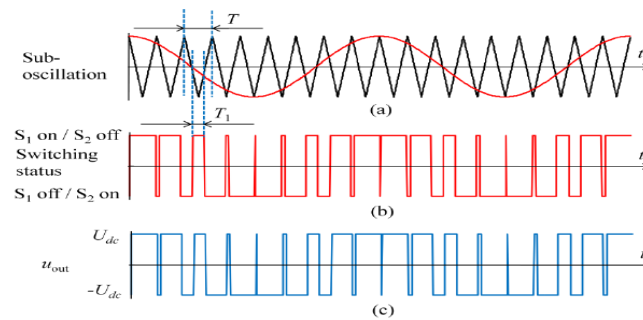
Kebutuhan manusia terhadap ketersediaan Energi listrik dari hari ke hari semakin meningkat, disisi lain Energi fosil yang banyak digunakan untuk pembangkit listrik sangat terbatas. Salah satu cara terbaik adalah dengan memanfaatkan Energi Matahari (Solar Energy) yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan Rumah tangga, Perkantoran, Industri, dan sebagainya. Sebelum Energi Matahari tersebut digunakan, maka terlebih dahulu harus melewati Sel surya (Solar Cell) untuk selanjutnya disimpan dalam sebuah susunan battery. Pada umumnya peralatan listrik yang tersedia adalah menggunakan tegangan AC, maka diperlukan suatu Inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Tetapi inverter yang tersedia saat ini masih banyak menggunakan gelombang kotak (square wave), atau gelombang Kuasi (Quasi wave) yang memiliki kandungan harmonisa yang lebih banyak dan efisiensi yang rendah. Jika inverter jenis ini dipaksakan penggunaannya, maka akan menghadapi perangkat-perangkat listrik yang bersifat Non-linier yang selanjutnya akan menaikkan nilai THD (total harmonic distortion) yang akan menurunkan kualitas penyaluran tenaga listriknya. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dibutuhkan sebuah Inverter yang dapat memproduksi gelombang Sinusoidal yang memiliki kandungan harmonisa yang lebih rendah dan efisiensi yang lebih tinggi.

Inverter adalah sebuah Konverter yang berfungsi untuk mengubah Tenaga DC (DC Power) menjadi Tenaga AC (AC power) sesuai dengan tegangan keluaran dan frekuensi yang dibutuhkan. Inverter secara umum dibagi menjadi dua jenis, yaitu Inverter jenis VSI (Voltage Source Inverter), dan CSI (Current Source Inverter). VSI memiliki sumber DC dengan Impedansi yang kecil, sedangkan CSI memiliki sumber DC dengan Impedansi yang tinggi dengan sumber DC yang konstan. Pada Inverter jenis VSI rangkaian dayanya dapat menggunakan GTO, Power Transistor, Mosfet, dan IGBT. Sinyal yang diberikan pada Gate nya berfungsi untuk menghasilkan saklar ON (switch-on), dan saklar OFF (switch-off) sesuai dengan pengaturan duty Cycle(D) nya. Metode yang dipakai untuk menghasilkan gelombang Sinusoidal adalah jenis VSI dengan metode Bipolar SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation).

2. METODE

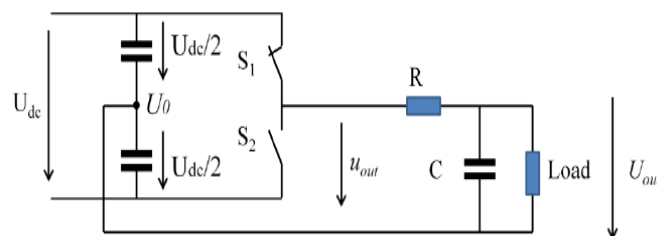
2.1 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM).

Metode SPWM (Sinusoidal PWM) disebut juga metode Triangulation, Sub harmonic, atau Suboscillation. Berdasarkan konsep PWM, jika duty cycle (D) diubah secara sinusoida, maka sebuah tegangan sinusoida akan dibangkitkan disisi keluarannya. Oleh karena itu diperlukan sebuah perubahan duty cycle(D) dengan sebuah aturan sinusoida (sinusoidal rule).



Gambar 1 Bentuk Sinyal Switching SPWM Bipolar

Berdasarkan gambar 1, maka diperlukan dua gelombang, yang pertama berfungsi untuk membangkitkan sebuah tegangan sinusoida yang ditunjukkan dengan warna merah pada gambar 1a dan disebut sebagai sinyal referensi. Gelombang yang kedua adalah sebuah sinyal segitiga (triangle signal) dengan frekuensi yang lebih besar daripada sinyal referensi. Sinyal segitiga tersebut dinamakan sebagai sinyal pembawa(carrier), dan frekuensinya disebut sebagai frekuensi PWM. Kemudian kedua sinyal tersebut dibandingkan, Jika sinyal referensi lebih besar daripada sinyal pembawa, maka saklar sebelah atas (S1) menjadi tersambung(ON) dan saklar sebelah bawah (S2) menjadi terbuka (OFF). Dan sebaliknya, Sakalar sebelah atas (S1) menjadi terbuka (OFF) dan Sakalar sebelah bawah (S2) menjadi tersambung (ON) seperti ditunjukkan pada gambar 2.



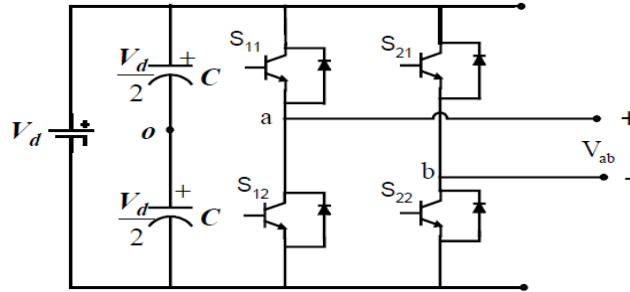
Gambar 2 Rangkaian konseptual untuk realisasi SPWM

Jika frekuensi sinyal pembawa jauh lebih besar dibandingkan dengan sinyal referensi, maka komponen frekuensi rendah daripada keluaran PWM akan meyerupai atau mendekati bentuk gelombang sinyal referensi. Secara praktis besarnya frekuensi PWM biasanya diatas 8 KHZ untuk menghasilkan tegangan keluaran 50 HZ.

2.2 Inverter 1 phase

Sebuah inverter satu phase dengan topologi jembatan penuh (full bridge) ditunjukkann pada gambar 3, yang tersusun dari 4 saklar. Inverter jembatan penuh ini dapat menghasilkan sebuah keluaran daya (output power) dua kali lebih besar dibandingkan dengan topologi

setengah jembatan (half-bridge) dengan tegangan masukan yang sama besar. Gambar 3 adalah sebuah rangkaian Inverter dengan topologi jembatan penuh dengan menggunakan 2 saklar bagian atas yaitu S_{11} dan S_{21} , dan saklar bagian bawah yaitu S_{12} dan S_{22} .



Gambar 3 Rangkaian Inverter topologi Jembatan penuh

Persamaan tegangan iuntuk konverter tersebut adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{v_d}{2} (S_{11} - S_{12}) &= V_{on} + V_{no} = V_{ao} \dots\dots\dots(1) \\ \frac{v_d}{2} (S_{21} - S_{22}) &= V_{bn} + V_{no} = V_{bo} \dots\dots\dots(2) \\ V_{ab} &= V_{an} - V_{bn} \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

Tegangan V_{an} dan V_{bn} adalah tegangan keluaran dari phase A dan B ke titik n. V_{no} adalah tegangan netral antara titik n dan titik tengah sumber DC. Fungsi Switching pada rangkaian H-Bridge tersebut dapat didekati dengan Deret Fourier yaitu sama dengan $\frac{1}{2}(1 + M)$ dimana M adalah sinyal modulasi yang dibandingkan dengan sinyal segitiga(carrier) menghasilkan pulsa switching. Berdasarkan persamaan 1, 2, dan 3 Persamaan untuk sinyal modulasinya dinyatakan dalam bentuk persamaan 4 dan 5

$$M_{11} = \frac{2(V_{an}+V_{no})}{V_d} \dots\dots\dots(4)$$

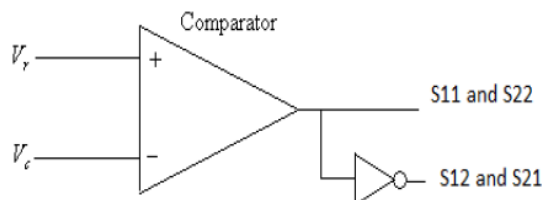
$$M_{21} = \frac{2(V_{bn}+V_{no})}{V_d} \dots\dots\dots(5)$$

Persamaan 4 dan 5 merupakan persamaan umum untuk sinyal modulasi pada konverter 1 phase dc-ac . Berbagai jenis skema modulasi didalam literatur diperoleh dari persamaan tersebut menggunakan defenisi yang sesuai dengan V_{an} , V_{bn} , dan V_{no} .

2.3 SPWM dengan Bipolar Switching

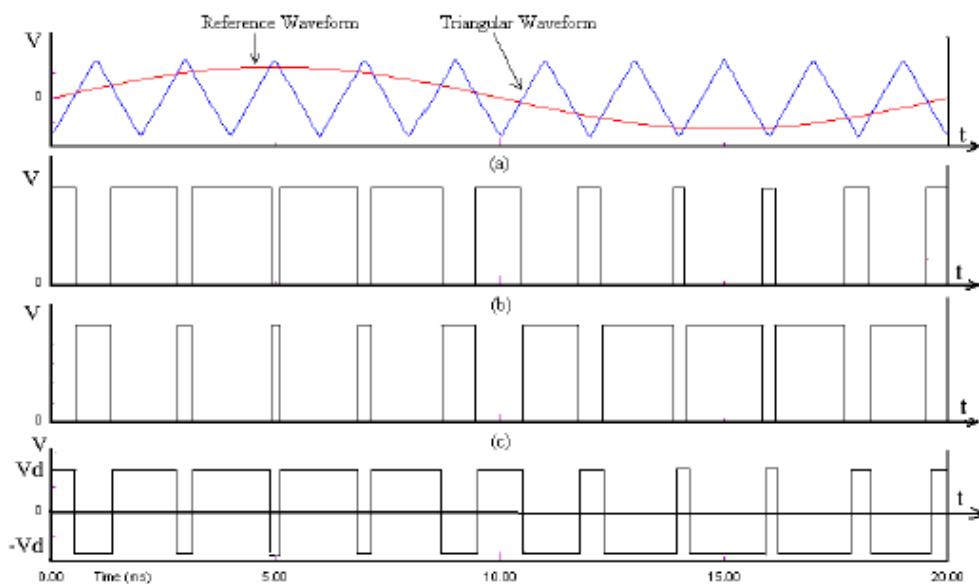
Ide pokok untuk menghasilkan SPWM Bipolar Switching ditunjukkan pada gambar 4. SPWM bipolar ini menggunakan sebuah komparator yang membandingkan antara sinyal

referensi V_r dengan sinyal pembawa V_c untuk menghasilkan sinyal “Bipolar switching”. Jika metode ini diterapkan pada sebuah inverter 1 phase jenis gelombang penuh seperti ditunjukkan pada gambar 3, maka semua pasangan saklar S11-S22, dan S21-S12 dihidupkan dan dimatikan pada waktu yang bersamaan. Keluaran dari kaki “a” adalah sama dan berlawanan dengan keluaran pada kaki “b”.



Gambar 4 Pembangkit SPWM bipolar^[11]

Tegangan keluaran yang ditentukan oleh hasil perbandingan sinyal kontrol V_r dan sinyal segitiga V_c , ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 SPWM dengan Bipolar switching^[11] (a) Sinyal referensi (V_r) dan segitiga (V_c)
 (b) Pulsa pada S11 dan S22 (c) pulsa pada S21 dan S12 (d) Sinyal keluaran

Pulsa pulsa switching yang diberikan memiliki pola switching ditunjukkan pada persamaan 6,7, dan 8.

$$V_r > V_c, S_{11} \text{ adalah On } \Rightarrow V_{ao} = \frac{V_d}{2} \text{ dan } S_{22} \text{ adalah On } \Rightarrow V_{bo} = -\frac{V_d}{2}; \dots\dots\dots(6)$$

$$V_r < V_c, S_{12} \text{ adalah On} \Rightarrow V_{ao} = -\frac{V_d}{2} \text{ dan } S_{21} \text{ adalah On} \Rightarrow V_{bo} = \frac{V_d}{2}; \dots\dots\dots(7)$$

Maka :

$$V_{bo}(t) = -V_{ao}(t)$$

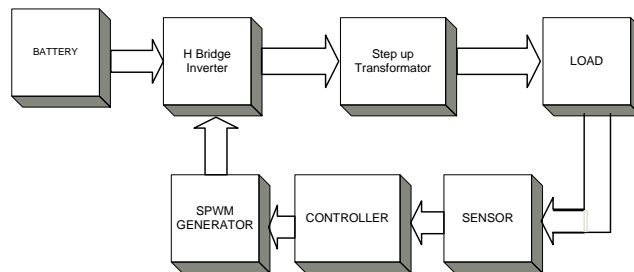
Sedangkan tegangan keluaran Vab ditunjukkan pada persamaan 9.

$$V_{ao}(t) = V_{ao}(t) - V_{bo}(t) = 2V_{ao}(t) \dots\dots\dots(9)$$

Basis Penelitian ini akan berbeda dibandingkan dengan Jurnal-jurnal yang referensi pada tulisan ini yaitu [1]-[13]. Pada jurnal [1]-[13] pada umumnya membahas SPWM inverter 1 phase dilakukan secara Simulasi yaitu menggunakan software Matlab, kecuali pada referensi [7][9] dan [10] yang melakukan rancang bangun inverter dengan jenis beban adalah **Linier**. Pada penelitian ini akan diawali dengan rancang bangun sebuah SPWM Inverter 1 phase, kemudian dilakukan pengujian dan pengambilan parameter data secara langsung. Yang membedakan penelitian ini dengan referensi [7][9][10] adalah bahwa didalam penelitian ini Microcontroller yang digunakan adalah jenis khusus (special purpose) yaitu jenis EG8010, dan adanya penggunaan beban tak linier pada sisi keluaran inverter.

2.4. Diagram Blok Rancangan Sistem

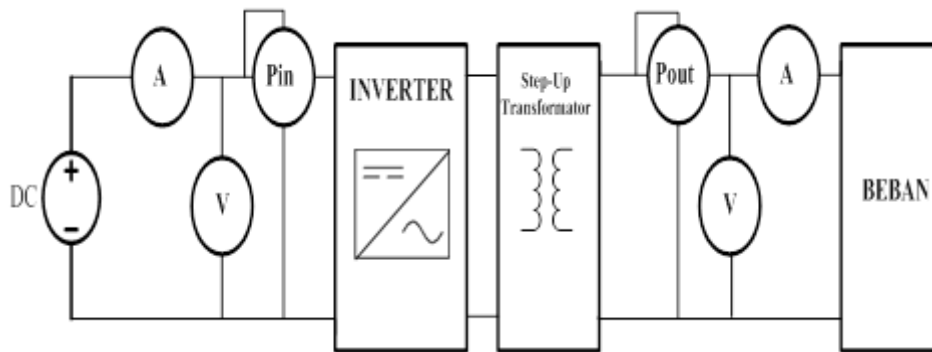
Rancangan Inverter secara keseluruhan akan meliputi Rangkaian H-Bridge yang memperoleh sinyal switching yang berasal dari SPWM generator yang dikendalikan oleh sebuah Controller. Masukan kontroller diperoleh dari beberapa sinyal umpanbalik yaitu arus, tegangan, temperatur dan frekuensi. Keluaran H-Bridge masih berupa tegangan rendah, sehingga diperlukan Step-Up Transformator. Keluaran tegangan sekunder transformator akan terhubung langsung ke beban (Load), seperti ditunjukkan pada gambar 9.



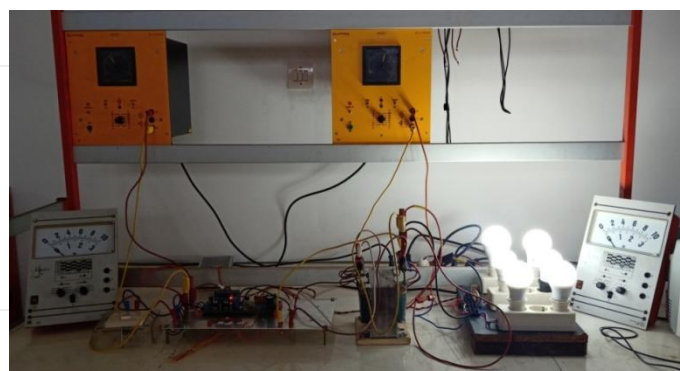
Gambar 6 Diagram Blok Rancangan Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rancangan pada diagram blok pada gambar 6 diimplementasikan dan diuji menjadi sebuah rangkaian yang lengkap untuk diambil data-datanya, seperti ditunjukkan pada gambar 7



(a)



(b)

Gambar 7 (a) Diagram Rangkaian (b) Pengujian Bipolar Inverter SPWM

3.1 Pengukuran Parameter listrik

Pengukuran parameter ini meliputi sisi input dan sisi output inverter. Sisi input inverter meliputi Tegangan DC, Arus Input DC, dan Daya Input inverter, sedangkan sisi output inverter meliputi tegangan output step-up transformator, arus beban AC, dan Daya output beban seperti ditunjukkan pada tabel 1. Jenis beban yang dipakai adalah beberap lampu LEDs yang meupakan jenis beban Tak Linier yang terdiri dari beberapa merek dagang yaitu : Phillips(Phil), Panasonic(Pan), dan Indomaret (Indo).

Tabel 1 Hasil Pengukuran parameter Inverter berbeban

No	Beban LEDs	Vout	Iout	Pout	Pf	THDv
----	------------	------	------	------	----	------

.		(V)	(mA)	(Watt)		(%)
1	Tanpa Beban	189.1	-	-	-	2.6
2	Lampu pijar 8-10w	189.5	52mA	9.7	0.99	2.7
3	7 W	194.0	50.4	6.1	0.64	5.2
4	9W	191.5	63.7	8.0	0.67	5.2
5	14 W	197.7	95.4	12.8	0.7	7.4
6	16 W	196,7	100.6	14.3	0.74	7.2
7	21 W	193,8	139.6	19.2	0.73	9.4
8	23 W	191,5	147.9	21.0	0.76	9.4
9	30 W	185.2	194.9	27.3	0.78	11.5

3.2 Bentuk gelombang sinyal SPWM

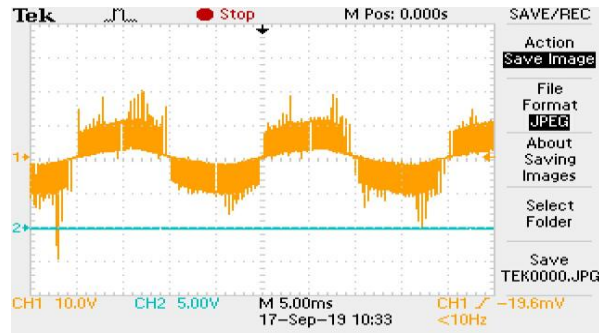
Bentuk gelombang ini diperoleh dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan osiloscope merek GW INSTEK dengan 4 probe. Probe 1 dan 2 digunakan untuk mengukur pada sisi S11 dan S22, sedangkan probe 3 dan 4 dihubungkan ke sisi S12 dan S21. Hasil pengukuran bentuk gelombang SPWM tersebut ditunjukkan pada gambar 8.



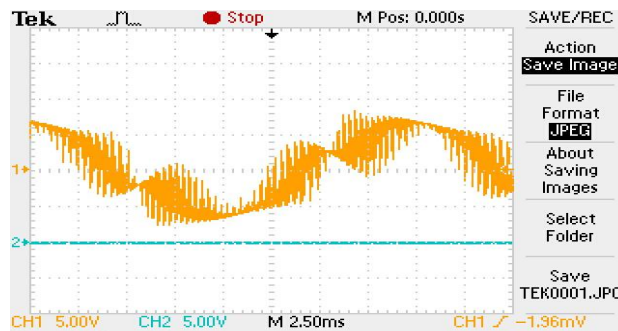
Gambar 8 Bentuk gelombang sinyal switching pada S11 S22, dan S21 S12

3.3 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus pada sisi input Step-up Transformator

Bentuk gelombang tersebut berasal dari keluran daripada H-Bridge dengan urutan switching seperti ditunjukkan pada gambar 8. Keluaran H-bridge ini terhubung dengan input Step-Up Transformator dan memiliki bentuk gelombang tegangan dan arus seperti ditunjukkan pada gambar 9.



(a)



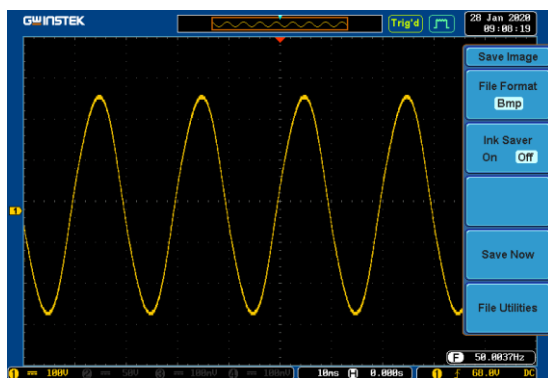
(b)

Gambar 9 Bentuk Gelombang keluaran H-Beridge

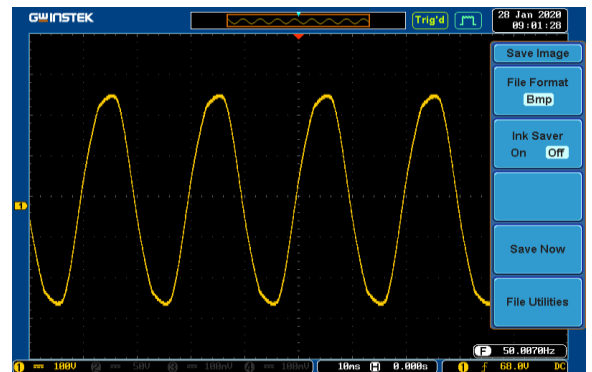
(a) Bentuk gelombang Tegangan. (b) Bentuk gelombang arus.

3.4 Bentuk gelombang Tegangan dan Arus pada sisi keluaran Step-up Transformator.

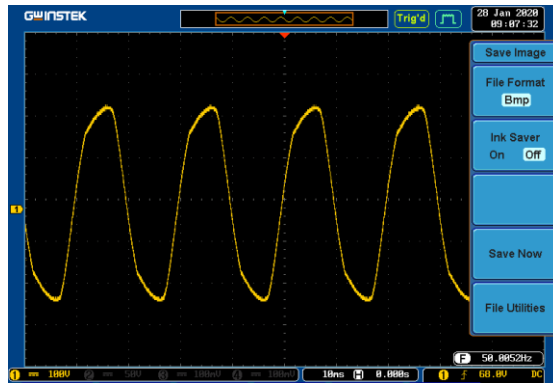
Bentuk Gelombang tegangan tanpa beban dan berbeban menggunakan Osilloscope merek GwinInstek, dan hasilnya ditunjukkan pada gambar 10 a, b, dan c.



(b) Tanpa beban



(b) Berbeban LEDs 9W

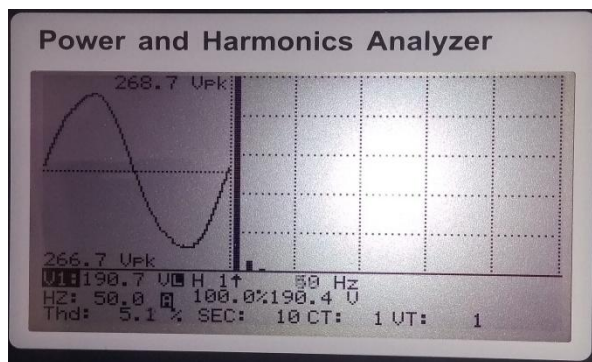


(C) Berbeban LEDs 30 watt

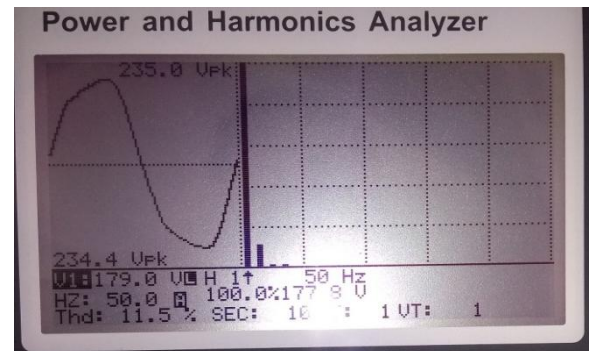
Gambar 10 Bentuk gelombang tegangan Keluaran Tanpa dan Berbeban

3.5 Total Harmonic Distortion (THDv).

Untuk mengetahui unjuk respon inverter terhadap adanya harmonisa baik terhadap harmonisa yang dihasilkan oleh Beban Non-linier ataupun Harmonisa yang diakibatkan oleh proses switching di rangkaian internal inverter, maka perlu adanya pengukuran THDv di sisi beban (sekunder transformator). Pengukuran THDv tersebut menggunakan Alat ukur Power and Harmonic Analyzer merek Prova. Pengukuran THDv tersebut hanya menampilkan pengukuran untuk beban LEDs 7W dan 30W yang dapat mewakili pengukuran untuk beban lainnya (gambar 11).



(a) Beban LEDES 7w



(b) Beban LEDs 30W

Gambar 11 Pengukuran THDv untuk beban Non linier (LEDs).

3.6 Arus, tegangan, dan harmonisa

Meningkatnya beban diikuti dengan meningkatnya arus Iout, Pout, dan THDv. Peningkatan arus Iout disebabkan karena meningkatnya daya beban sekaligus meningkatkan jumlah harmonisa baik yang berasal dari sumbangan rangkaian switching inverter dan beban tak linier itu sendiri. Seperti ditunjukkan pada tabel 1 bahwa saat tanpa beban THDv masih terbaca

2.6%, dan terus meningkat ketika beban bertambah. Secara teoritis besarnya jumlah harmonisa tegangan ditunjukkan dengan nilai THD_v (Total harmonic distortion) seperti pada persamaan 1.

$$THD_v = \frac{\sqrt{(V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2)}}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

Suatu hal yang menonjol pada gambar THD_v gambar 10 adalah bahwa harmonisa pada orde ke-3 lebih besar daripada harmonisa ke-4,5,7 dan seterusnya. Oleh karena itu sebuah inverter yang digunakan untuk gabungan beban Non-linier dapat dilengkapi dengan sebuah filter jenis Low pass filter (LPF) untuk meredam harmonisa yang tidak diinginkan, khususnya harmonisa yang ke-3. Hal lainnya yang penting pada inverter ini adalah bahwa tegangan pada beban relatif tidak stabil dan mengalami penurunan dengan bertambahnya beban. Hal ini disebabkan rancang bangun inverter jenis bipolar SPWM tersebut munrni sebuah inverter yang belum dilengkapi dengan rangkain penstabil tegangan.

3.7 Bentuk gelombang sinyal SPWM

Saklar S11 dan S22 menghasilkan Switching ON pada satu sisi, sedangkan S12 dan S21 menghasilkan switching OFF pada sisi lainnya pada ½ periode seperti ditunjukkan pada gambar 4.6. Pada ½ periode berikutnya Saklar S11 dan S22 menghasilkan Switching OFF pada satu sisi, sedangkan S12 dan S21 menghasilkan Switching ON sisi lainnya pada setengah periode berikutnya, dan seterusnya. Sinyal yang pada ½ gelombang periode pertama yaitu pada keluaran SPWM generator S11 yang merupakan hasil perbandingan antara sinyal carrier dan sinyal modulasi. Sedangkan pada sisi S22 menghasilkan sinyal “ON” selama ½ periode. Sinyal S11 dan S22 akan menghasilkan gelombang sinusoidal positif pada ½ periode pertama. Sedangkan pada ½ periode kedua, keluaran SPWM generator S12 menghasilkan bentuk yang identik dengan keluaran SPWM generator S11, dan bersamaan waktunya dengan S12 dibangkitkan sebuah sinyal S21 yang berbentuk sinyal “ON” selama ½ periode kedua. Sinyal S12 dan S21 menghasilkan gelombang sinusoidal negatif pada ½ periode kedua.

3.8 Bentuk gelombang tegangan tanpa beban dan berbeban

Bentuk gelombang tanpa beban menghasilkan bentuk gelombang yang relatif sangat bagus yaitu bentuk sinusoidal seperti ditunjukkan pada gambar 10. Bentuk gelombang tersebut dihasilkan oleh sinyal tegangan yang diberikan pada gate transistor secara tepat yaitu pada S11 S12 dan S21 S22. Sinyal-sinyal tersebut dihasilkan oleh rangkaian SPWM generator yang merupakan keluaran hasil perbandingan antara sinyal carrier dan sinyal referensi dengan metode

bipolar. Sedangkan bentuk gelombang dengan beban tak linier mengalami sedikit perubahan bentuk gelombang seperti ditunjukkan pada gambar 10 b dan c. Bentuk gelombang yang sedikit mengalami perubahan pada sisi pucak positif dan negatifnya disebabkan oleh pemberian beban tak linier dalam hal ini adalah lampu LEDs. Karena Lampu LEDs merupakan jenis beban tak linier, maka beban tersebut akan membangkitkan harmonisa-harmonisa yang tentu saja akan mengganggu dan menurunkan kualitas daya yang dihasilkan oleh inverter. Gangguan beban LEDs terhadap Inverter adalah terhadap bentuk gelombang yang sedikit terganggu, dan meningkatnya nilai THDv. Seperti ditunjukkan pada tabel 1, nilai tegangan pada keluaran inverter secara umum mengalami penurunan seiring meningkatnya daya beban, hal ini terjadi karena didalam rancang bangun Inverter ini tidak dilengkapi dengan rangkaian penstabil tegangan pada sisi keluarannya. Sedangkan nilai faktor kerjanya (pf) tergantung pada kualitas beban LEDs, dan hasil pengukuran menunjukkan nilai faktor kerja memiliki nilai yang relatif baik berkisar antara 0.6-0.78 dengan beban LEDs didominasi dari merek Philips, dan Panasonic.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pembangkitan sinyal generator SPWM telah bekerja dengan baik untuk menghasilkan sinyal switching pada keempat sisi gate power mosfet pada rangkaian H-bridge. Pembangkitan yang tepat ini menghasilkan bentuk tegangan keluaran sinusoidal pada keluaran step-up transformator.
2. Penggunaan Metode Bipolar SPWM sangat baik digunakan pada sebuah rancang bangun Inverter karena mampu menghasilkan kualitas bentuk gelombang sinusoidal yang sangat baik.
3. Rancang bangun Bipolar SPWM ini telah diujicoba pada beban Non-linier dengan merek dan daya yang bervariasi. Hasil Ujicoba menunjukkan bahwa Nilai THDv yang dibangkitkan oleh keluaran Inverter tersebut relatif kecil saat berbeban yaitu sebesar 2.6% - 11.5 % untuk beban 7w – 30W tanpa keterlibatan LPF.
4. Akibat adanya aksi switching didalam rangkaian power H-Bridge, maka tentu saja akan dibangkitkan frekuensi harmonisa yang akan menyebabkan meningkatnya besarnya rugi-rugi daya, yang selanjutnya akan menurunkan efisiensi Inverter.

Saran

1. Penelitian ini hendaknya dilanjutkan dengan rancang bangun metode pembangkitan sinyal generator lainnya (misalnya metode Unipolar), sehingga diperoleh kelebihan dan kekurangan pada masing-masing metode.

2. Untuk meningkatkan kualitas Inverter Bipolar SPWM ini hendaknya dilengkapi dengan rangkaian penstabil tegangan dan LPF (low pass filter) sebelum digunakan untuk penyaluran daya pada beban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amir Kumar Sharma, Ashok Kumar Sharma & Nidhi Vijay, *Unipolar and Bipolar SPWM Voltage Modulation Type Inverter for Improved Switching Frequencies*, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, August, 2014.
- [2] Amuja Namboodiri, Harshal S.Wani, *Unipolar and Bipolar PWM Inverter*, IJRST International Journal for Innovative Research & Technology, Volume 1, Issue 7 Desember 2014.
- [3] Anubha Gupta, *Three Phase Inverter Simulation Using Sinusoidal PWM Technique*, International Journal of Advance Research in Electrical in Eletrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol.6, Issue 5, May 2017.
- [4] Avinash Bajpayee,M., Nilesh Diwakar Truba, Mithlesh Gautam, Meha Shrivastava, *Anlysis of FFT Performance of the Bipolar SPWM Inverter*, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 7, Issue 11, May 2018.
- [5] Avinash Bajpayee,Prof.Mithlesh Gautam, Prof.Meha Khare and Prof.Akhilesh Barsainya, *Designing of Efficient High Voltage Three Phase Bipolar SPWM Inverter and Analysis*, International Journal of Engineering Innovation & Research, Volume 7, Issue 6, ISSN:2277-5668.
- [6] Dr B Gavaskar Reddy, Dr L Maheswari, Adi Ganeswari Kale, *Performance Improvement of Single Phase Inverter Using SPWM*, IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering , ICMAEM-2017.
- [7] Dr.R.Nagarajan, R.Yuvaraj, Implementation of SPWM Technique for Inverter, International Journal of Advance Research in Biology, Engineering, Science and Technology (IJARBEST) Vol.2, Issue 9, Sepetember 2016.
- [8] Kalpesh R. Chaudhary, M.J.Mod2, *Switching Control of Inverter Using SPWM Technique*, International Journal of Innovative Research in Technology, 2015 IJIRRT| Volume 1| Issue 12 |ISSN :2349-6002.
- [9] Mohamed A.Ghalib, Yasser Abdalla, R.M Mostofa, *Design and Implemtation of Pure Sine Wave Single Phase Inverter for Photovoltaic Applications*, Electrical and Automatics Control Departement, Suez University, Egypt.
- [10] Nazmul Islam Raju, Md. Shahinur Islam, Ahmed Ahsan Uddin, *Sinusoidal PWM Signal Generation Technique for Three Phase Voltage Source Inverter with Analog Circuit & Simulation of PWM Inverter for Standalone Load & Micro-grid System*, International Journal of Renewable Energy Research, Vo.3,No.3
- [11] Pankaj H Zope, Pravin G Bhangaler, Prashant Sonare,S.R.Suralkar, *Design and Implementation of carrier based Sinusoidal PWM Inverter*, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol 1, Issue 4 October 2012
- [12] Prof. Suryakant H.Pawar, Miss.Apurva S.Kulkami, Mr.Chetan A.Jambhulkar, Effect of Carrier Frequency on Performance of Three Phase SPWM Inverter, International Journal of Science, Engoneering and Technology Research (IJSETR), Volume 4, Issue 9, September 2015.
- [13] Sachin Maheshri,Prabodh Khampariya, *Simulation of Single Phase SPWM (Unipolar Inverter)*, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), Volume 1 Issue 9 (October 2014).