

REALISASI INVERTER MULTILEVEL CASCADED H-BRIDGE (CHB) 5 TINGKAT SATU FASA MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560 *Realization Of Single Phase 5 Level Cascaded H-Bridge (CHB) Multilevel Inverter Using Arduino Mega 2560*

Aziz Hari Priyono¹, Supriono², I Nyoman Wahyu Satiawan³

ABSTRAK

Peralatan konversi daya memiliki peran penting dalam sistem kelistrikan, salah satu alat konversi daya yang banyak digunakan adalah inverter. Inverter sebagai peralatan elektronika sangat banyak digunakan di dunia industri maupun peralatan rumah tangga. Efisiensi inverter yang rendah dikarenakan oleh unjuk kerjanya yang tidak maksimal dapat mengurangi kualitas tegangan keluarannya dan menghasilkan kandungan harmonisa rendah yang besar. Inverter multilevel Cascaded H-Bridge (CHB) adalah salah satu inverter multilevel jenis jembatan yang disusun secara bertingkat. Topologi inverter ini banyak digunakan karena kelebihan yang dimiliki diantaranya bentuk gelombang tegangan yang lebih mendekati sinusoidal atau menghasilkan distorsi harmonisa yang kecil, dan dapat mencatu aplikasi daya tinggi. Pada penelitian ini akan dirancang inverter multilevel Cascaded H-Bridge (CHB) 5-tingkat satu-fasa menggunakan skema teknik modulasi carrier-based PWM, yaitu teknik modulasi multicarrier phase-shifted dan level-shifted, dimana sinyal pulsa akan dibangkitkan menggunakan Arduino Mega 2560. Teknik modulasi multicarrier phase-shifted adalah teknik modulasi yang terbaik performanya, dengan nilai THD sebesar 16,4%. Sedangkan dari ketiga skema pada teknik modulasi multicarrier level shifted skema yang paling baik performanya adalah skema POD, dengan THD sebesar 22,8%.

Kata Kunci: Konversi Daya; Inverter multilevel CHB; Teknik modulasi multicarrier; THD.

ABSTRACT

Power conversion device have important role on electricity system, one of power conversion device that commonly used is inverter. Inverter as electronics device massively used in industry as well as in household application. Low efficiency that found on an inverter caused by unoptimal work method will reduce output voltage quality and produces high low-order harmonics. Multilevel Cascaded H-Bridges (CHB) is one type of multilevel inverter that is developed by arranging several H-bridge inverters. The topology of inverter is commonly used because the waveform of voltage output is close to sinusoidal, that means it enables to produce lower harmonics distortion, and suitable to high power applications. This research is aimed to design a single-phase 5 level multilevel Cascaded H-Bridges (CHB) that is modulated using carrier-based PWM technique, especially multicarrier phase-shifted and level-shifted modulation technique. The PWM pulses are be generated using Arduino Mega 2560. Among all modulation techniques, that are investigated, multicarrier phase-shifted modulation technique results the best output (the value of THD is 16,4%). Whereas among the three schemes on multicarrier level shifted, POD schemes has the best performance with value of THD is 22,8% .

Keywords: Power Conversion; CHB Multilevel Inverter; Multicarrier Modulation Technique; THD.

PENDAHULUAN

Peralatan konversi daya memiliki peran penting dalam sistem kelistrikan, salah satu alat konversi daya yang banyak digunakan adalah inverter. Inverter merupakan alat konversi tegangan DC menjadi tegangan AC, dimana penggunaan inverter sebagai peralatan elektronika sangat banyak digunakan di dunia industri maupun peralatan rumah tangga,

Efisiensi yang rendah pada sebuah inverter dikarenakan unjuk kerjanya yang

tidak maksimal, sehingga akan mengurangi kualitas tegangan keluarannya dan menghasilkan harmonisa yang besar. Salah satu topologi inverter yang saat ini populer digunakan adalah inverter multilevel Cascaded H-Bridge (CHB). Inverter multilevel Cascaded H-Bridge (CHB) adalah suatu inverter multilevel jenis jembatan yang disusun secara bertingkat. Kelebihan utama inverter jenis ini adalah bentuk gelombang tegangan yang baik, menghasilkan distorsi harmonisa yang kecil, dan dapat menangani daya yang besar.

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jln Majapahit No 62 Mataram -Nusa Tenggara Barat
Email: 1. 4212hp@gmail.com, 2.nwahyus@yahoo.com, 3.suprionomuda@yahoo.com

Penelitian ini akan merancang inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) 5 tingkat satu fasa dimana pembangkit sinyal pulsa menggunakan skema teknik modulasi *carrier-based* PWM. Umumnya teknik modulasi jenis ini diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu : teknik modulasi *multicarrier* dengan cara menggeser fasa (*phase-shifted*), dan yang kedua dengan cara menggeser level dari sinyal *carrier* (*level-shifted*). Dalam penelitian ini tegangan keluaran inverter multilevel dan teknik PWM (*phase-shifted*) dan (*level-shifted*) akan direalisasikan dengan menggunakan Arduino Mega 2560, selanjutnya performa tegangan keluaran akan dianalisis.

Inverter merupakan peralatan elektronika daya yang dapat mengkonversi besaran listrik DC (searah) menjadi besaran listrik AC (bolak-balik). Tegangan *output*nya bisa tetap ataupun berubah-ubah, dengan frekuensi tetap ataupun dengan frekuensi yang berubah-ubah. (Hart, 2011)

Peralatan – peralatan industri telah banyak yang mulai membutuhkan daya yang lebih tinggi beberapa tahun terakhir ini. Penggunaan daya yang besar mungkin akan bermanfaat bagi motor-motor industri yang membutuhkan daya tinggi. Namun beberapa peralatan industri dan *motor drives* membutuhkan daya rendah dan menengah dalam pengoperasiannya. Oleh karena itu, pada tahun 1975 konverter multilevel diperkenalkan sebagai alternatif untuk mengatasi masalah daya tinggi dan menengah. Sebuah konverter multilevel tidak hanya dapat melayani permintaan daya yang besar, tapi juga dapat digunakan pada sumber energi baru dan terbarukan. (Corzine, 2005)

Inverter multilevel adalah konverter yang mengubah besaran DC menjadi besaran AC dimana keluaran (*output*) yang dihasilkan mempunyai beberapa (lebih dari dua) level tegangan atau arus. Inverter jenis ini memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan Inverter multilevel antara lain :

1. Tegangan keluaran Inverter multilevel memiliki distorsi yang kecil
2. Inverter multilevel dapat mengambil arus masukan dengan distorsi yang rendah.
3. Inverter multilevel dapat beroperasi pada dua jenis frekuensi *switching*, yaitu pada frekuensi *switching* fundamental dan frekuensi *switching* PWM yang tinggi.

Sedangkan kekurangan Inverter multilevel adalah membutuhkan penyakelaran semikonduktor dalam jumlah yang besar. Hal ini dapat menyebabkan sistem secara

keseluruhan menjadi lebih mahal dan kompleks. (Yuwono, dkk, 2011)

Inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) merupakan salah satu topologi konverter yang populer digunakan pada *drive* tegangan menengah. Salah satu keuntungan dari inverter multilevel ini adalah membutuhkan lebih sedikit komponen jika dibandingkan dengan inverter multilevel *diode-clamped* dan *flying-capacitor*. Dilihat dari segi harga dan berat, Inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) memiliki harga dan berat yang lebih rendah jika dibandingkan dengan dua jenis inverter lainnya.

Jumlah tingkat tegangan pada inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) selalu bernilai ganjil. Banyaknya jumlah tingkat tegangan pada inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) ini, dapat dihitung dengan:

$$m = (2H + 1) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

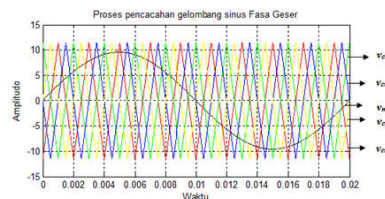
m = Jumlah tingkat tegangan pada inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB)

H = Jumlah sel jembatan (*H-Bridge*) pada inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB)

Terdapat dua teknik pemodulasian sinyal pulsa dengan menggunakan teknik *multicarrier* PWM, yaitu modulasi *multicarrier* dengan cara menggeser fasa (*phase-shifted*) dan modulasi *multicarrier* dengan cara menggeser level (*level-shifted*). (Wu, 2006)

a. Modulasi *muticarrier* dengan cara menggeser fasa (*phase-shifted*). secara umum, inverter multilevel dengan tingkat tegangan *m* membutuhkan (*m - 1*) pembawa segitiga. Dalam modulasi *multicarrier* fasa bergeser, semua pembawa segitiga memiliki frekuensi yang sama dan amplitudo puncak ke puncak sama, pergeseran fasa antara dua gelombang pembawa yang berdekatan, dapat dihitung dengan:

$$cr = 360^\circ (m - 1) \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 1. Teknik Modulasi *multicarrier* dengan cara menggeser fasa (*phase-shifted*)

b. Modulasi *muticarrier* dengan cara menggeser level (*level-shifted*). Serupa

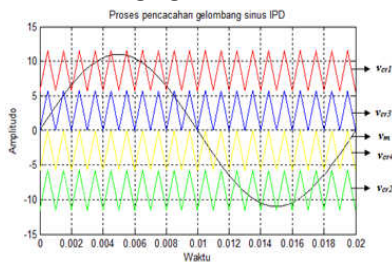
dengan modulasi fasa bergeser, sebuah CHB inverter m tingkat dengan menggunakan skema modulasi *multicarrier* dengan cara menggeser level membutuhkan $(m - 1)$ pembawa segitiga, semua memiliki frekuensi dan amplitudo yang sama. $(m - 1)$ pembawa segitiga secara vertikal diatur sedemikian rupa sehingga pita yang ditempatinya berdampingan.

Indeks modulasi frekuensi diberikan oleh $m_f = f_{cr} / f_m$, yang sama untuk skema modulasi fasa bergeser sedangkan indeks modulasi amplitudo didefinisikan sebagai :

$$m_a = \frac{\hat{V}_m}{\hat{V}_{cr}(m-1)} \quad \text{for } 0 \leq m_a \leq 1 \dots\dots (3)$$

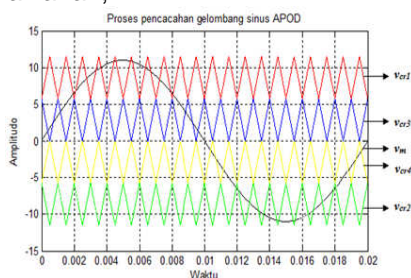
Terdapat tiga skema untuk modulasi *multicarrier level-shifted*, diantaranya:

- a. *In-Phase Disposition* (IPD), dimana semua pembawa segitiga berada sefasa;



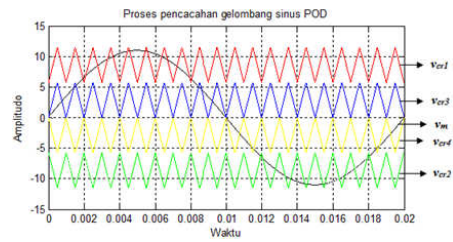
Gambar 2. Teknik Modulasi *multicarrier* dengan cara menggeser fasa (*level-shifted*) skema IPD

- b. *Alternative Phase Opposite Disposition* (APOD), dimana semua pembawa segitiga yang alternatif dalam disposisi yang berlawanan;



Gambar 3. Teknik Modulasi *multicarrier* dengan cara menggeser fasa (*level-shifted*) skema APOD

- c. *Phase Opposite Disposition* (POD), dimana semua pembawa segitiga di atas referensi nol berada.

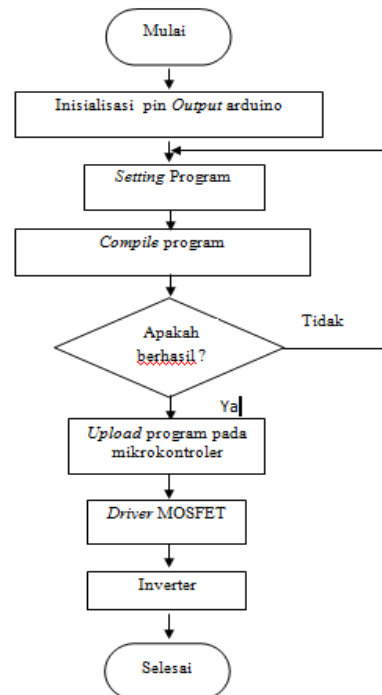


Gambar 4. Teknik Modulasi *multicarrier* dengan cara menggeser fasa (*level-shifted*) skema POD

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merealisasikan inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) 5 tingkat satu fasa dan teknik modulasi *multicarrier* dengan cara menggeser fasa (*phase-shifted*), dan menggeser level (*level-shifted*). Unjuk kerja dari Tegangan keluaran inverter dari masing-masing teknik modulasi ini akan dibandingkan dan dianalisa untuk menentukan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing teknik modulasi tersebut. Arduino Mega 2560 digunakan sebagai pembangkit sinyal PWM pada masing-masing teknik modulasi tersebut.

Diagram Alir Perancangan Program



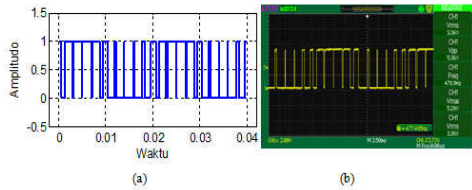
Gambar 5. diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

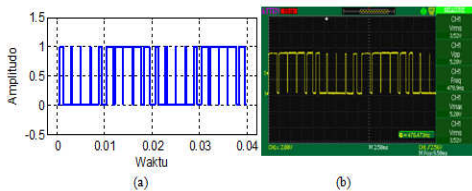
Pengujian program pembangkitan pulsa PWM. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian program pembangkitan pulsa PWM menggunakan mikrokontroler Arduino Mega

2560 dengan cara menggeser fasa (*phase-shifted*), dan menggeser level (*level-shifted*). Pada penelitian ini, penulis hanya menggunakan port PWM pada Arduino Mega 2560 yaitu : port 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11. Berikut hasil keluaran gelombang pada Arduino Mega 2560.

Pengujian teknik modulasi dengan cara menggeser fasa (*phase-shifted*)

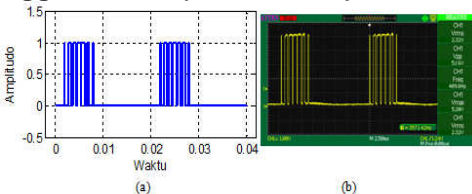


Gambar 6. Bentuk PWM sakelar S_1 modulasi *phase-shifted*

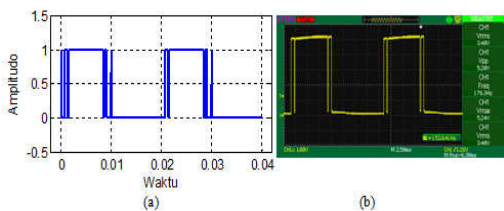


Gambar 7. Bentuk PWM sakelar S_3 modulasi *phase-shifted*

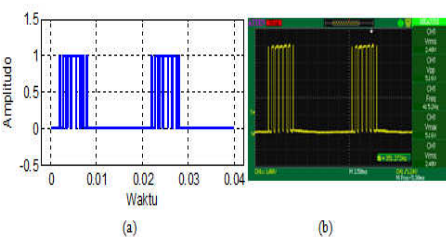
Pengujian teknik modulasi dengan cara menggeser level (*level-shifted*)



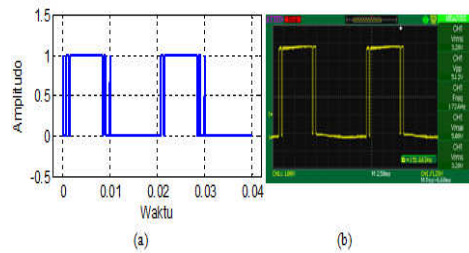
Gambar 8. Bentuk PWM sakelar S_1 skema IPD



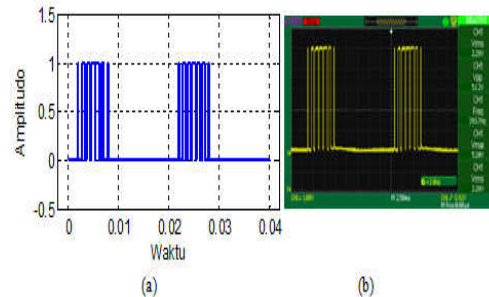
Gambar 9. Bentuk PWM sakelar S_5 skema IPD



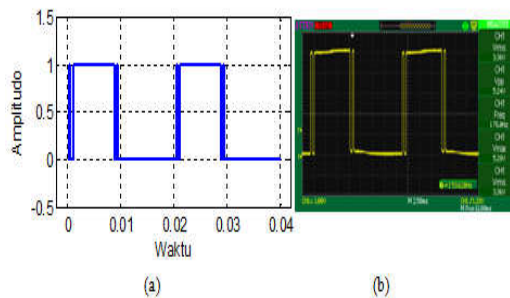
Gambar 10. Bentuk PWM sakelar S_1 skema POD



Gambar 11. Bentuk PWM sakelar S_5 skema POD



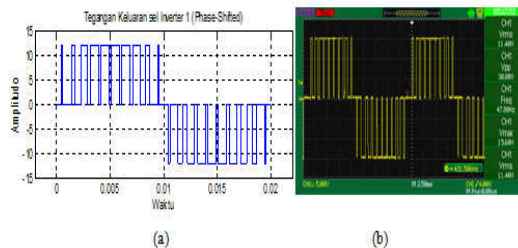
Gambar 12. Bentuk PWM sakelar S_1 skema APOD



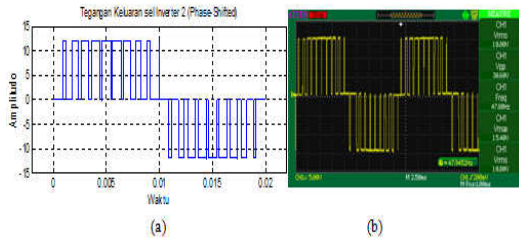
Gambar 13. Bentuk PWM sakelar S_5 skema APOD

Dasarnya teknik modulasi *multicarrier level-shifted* sama seperti *phase-shifted*. Kedua teknik modulasi ini merupakan pengembangan dari metode SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*), perbedaannya pada teknik modulasi *multicarrier level-shifted* dan *phase-shifted* menggunakan lebih banyak sinyal segitiga (*carrier*) untuk mencacah gelombang sinus.

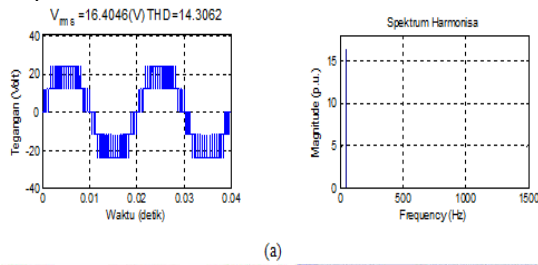
Tegangan keluaran teknik modulasi dengan cara menggeser fasa (*phase-shifted*)



Gambar 14. Tegangan keluaran sel inverter 1 menggunakan teknik modulasi *multicarrier phase-shifted*.



Gambar 15. Tegangan keluaran sel inverter 2 menggunakan teknik modulasi multicarrier phase-shifted

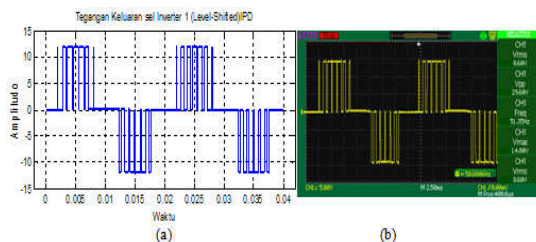


Gambar 16. Tegangan keluaran serta spectrum harmonisa pada inverter menggunakan teknik modulasi multicarrier phase-shifted

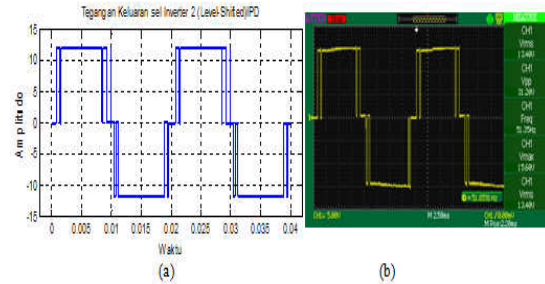
Data pengukuran tegangan dengan teknik modulasi multicarrier phase-shifted sebelum tegangan dinaikan menggunakan transformator yang diukur dengan menggunakan oscilloscope didapatkan nilai tegangan (V_{rms}) sebesar 8,22 Volt Ac, tegangan (V_{pp}) sebesar 25,20 Volt dan frekuensi sebesar 47,79 Hz. Nilai THD yang diperoleh sebesar 16,4%.

Tegangan keluaran teknik modulasi dengan cara menggeser level (level-shifted)

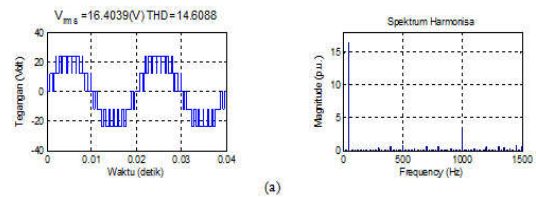
1. Skema IPD



Gambar 17. Tegangan keluaran sel inverter 1 menggunakan skema IPD



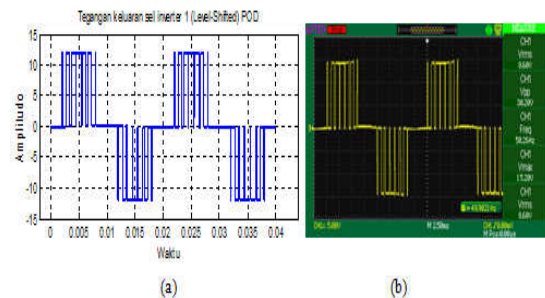
Gambar 18. Tegangan keluaran sel inverter 2 menggunakan skema IPD



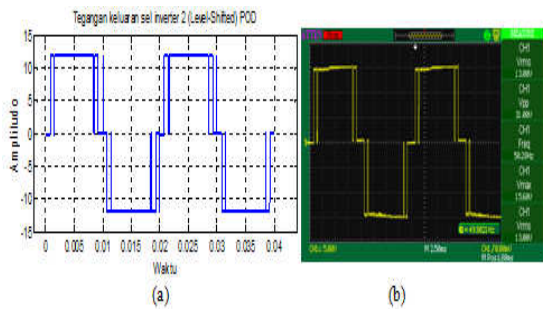
Gambar 19. Tegangan keluaran serta spectrum harmonisa pada inverter menggunakan teknik modulasi multicarrier level-shifted skema IPD

Data pengukuran tegangan dengan teknik modulasi multicarrier level-shifted skema IPD sebelum tegangan dinaikan menggunakan transformator yang diukur dengan menggunakan oscilloscope didapatkan nilai tegangan (V_{rms}) sebesar 8,48 Volt, tegangan (V_{pp}) sebesar 25,80 Volt dan frekuensi sebesar 51,36 Hz. Nilai THD yang diperoleh sebesar 23,6%.

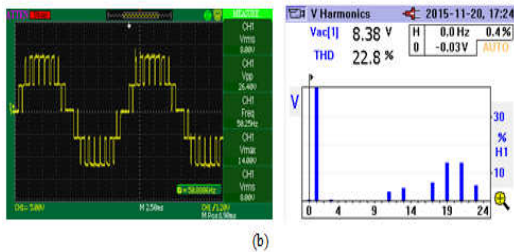
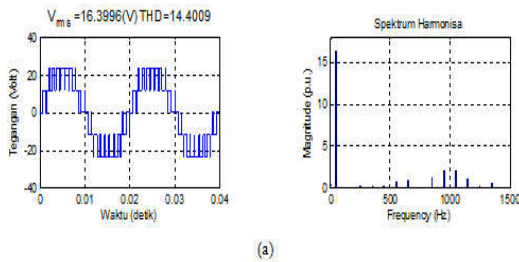
2. Skema POD



Gambar 20. Tegangan keluaran sel inverter 1 menggunakan skema POD



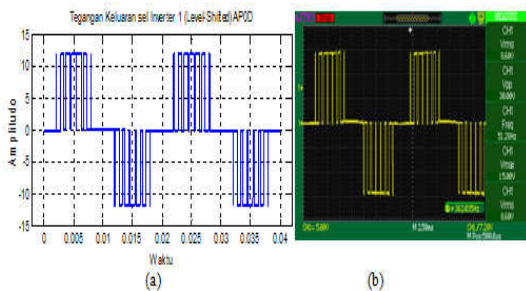
Gambar 21. Tegangan keluaran sel inverter 2 menggunakan skema POD



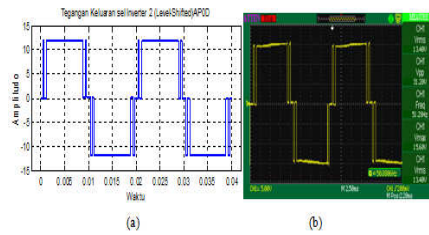
Gambar 22. Tegangan keluaran serta spektrum harmonisa pada inverter menggunakan teknik modulasi multicarrier level-shifted skema POD

Data pengukuran tegangan dengan teknik modulasi *multicarrier level-shifted* skema POD sebelum terpasang pada transformator yang diukur dengan menggunakan *oscilloscope* didapatkan nilai tegangan (V_{rms}) sebesar 8,38 Volt, tegangan (V_{pp}) sebesar 26,4 Volt dan frekuensi sebesar 50,25 Hz. Nilai THD yang diperoleh sebesar 22,8 %.

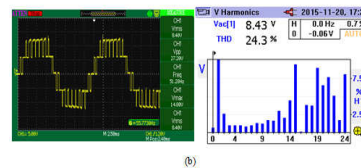
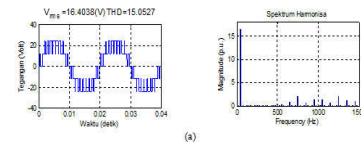
3. Skema APOD



Gambar 23. Tegangan keluaran sel inverter 1 menggunakan skema APOD



Gambar 24 Tegangan keluaran sel inverter 2 menggunakan skema APOD



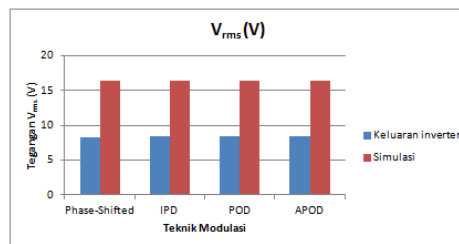
Gambar 25 Tegangan keluaran serta spektrum harmonisa pada inverter menggunakan teknik modulasi multicarrier level-shifted skema APOD

Data pengukuran tegangan dengan teknik modulasi *multicarrier level-shifted* skema APOD sebelum terpasang pada transformator yang diukur dengan menggunakan *oscilloscope* didapatkan nilai tegangan (V_{rms}) sebesar 8,43 Volt, tegangan (V_{pp}) sebesar 26,4 Volt dan frekuensi sebesar 51,20 Hz. Nilai THD yang diperoleh sebesar 24,3 %.

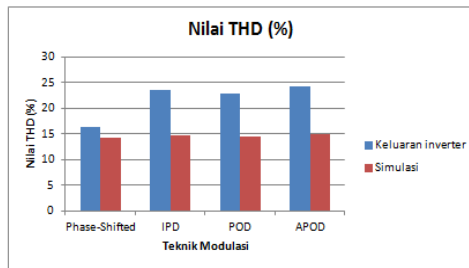
Analisa perbandingan hasil teknik modulasi pada tegangan rendah (sebelum menggunakan transformator)

Tabel 1. Data pengukuran pengujian inverter multilevel CHB

No.	Teknik Modulasi	Parameter yang diukur			
		V_{rms} (V)	V_{pp} (V)	Frekuensi (Hz)	THD (%)
1.	Phase-Shifted	8,22	25,20	47,79	16,40
2.	Level-Shifted skema IPD	8,48	25,80	51,36	23,60
3.	Level-Shifted skema POD	8,38	26,40	50,25	22,80
4.	Level-Shifted skema APOD	8,43	27,20	51,20	24,30



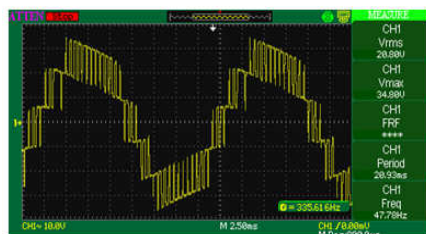
Gambar 26. Perbandingan tegangan V_{rms} tanpa trafo antara hasil simulasi dan hasil keluaran inverter untuk tiap teknik modulasi



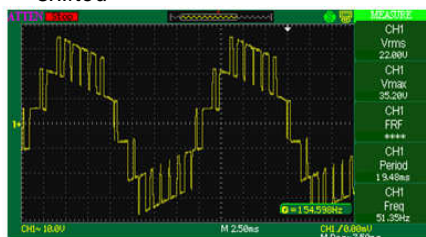
Gambar 27. Perbandingan nilai THD tanpa trafo antara hasil simulasi dan hasil keluaran inverter untuk tiap teknik modulasi

Dari data di atas menunjukkan bahwa tegangan V_{rms} pada hasil pengukuran lebih kecil dibandingkan tegangan V_{rms} pada hasil simulasi, sedangkan perbandingan nilai THD antara simulasi dan hasil pengukuran, didapatkan nilai THD pada hasil simulasi lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengukuran. Nilai THD terkecil dihasilkan pada teknik modulasi *multicarrier Phase-Shifted* yaitu sebesar 16,4 %. Dan nilai THD terbesar dihasilkan teknik modulasi *multicarrier Level-Shifted* skema APOD yaitu sebesar 24,3 %.

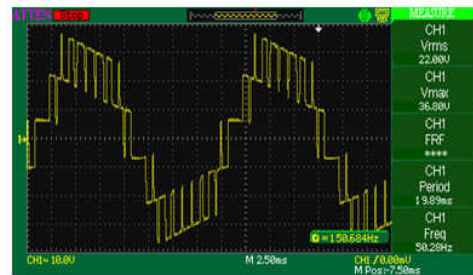
Analisa perbandingan hasil teknik modulasi pada tegangan tinggi (setelah menggunakan beban). Pengukuran inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) satu fasa menggunakan skala x10 pada *probe oscilloscope*-nya, sehingga data tegangan V_{rms} yang didapat sepersepuluh dari data sebenarnya.



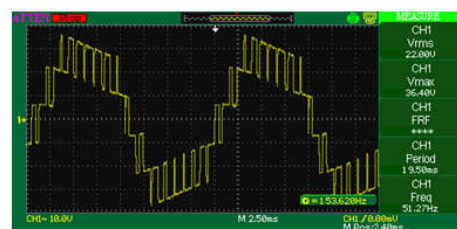
Gambar 28. Tegangan keluaran inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) dengan teknik modulasi *multicarrier Phase-Shifted*



Gambar 29. Tegangan keluaran inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) dengan teknik modulasi *multicarrier Level-shifted* skema IPD



Gambar 30. Tegangan keluaran inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) dengan teknik modulasi *multicarrier Level-shifted* skema POD



Gambar 31. Tegangan keluaran inverter Multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) dengan teknik modulasi *multicarrier Level-shifted* skema APOD

Tabel 2. Data pengukuran pengujian inverter multilevel CHB saat berbeban

No.	Teknik Modulasi	Parameter yang diukur	
		V_{rms} (V) x10	Frekuensi (Hz)
1.	<i>Phase-Shifted</i>	20	47,78
2.	<i>Level-Shifted</i> skema IPD	22	51,35
3.	<i>Level-Shifted</i> skema POD	22	50,20
4.	<i>Level-Shifted</i> skema APOD	22	51,27

Nilai V_{rms} terbesar dihasilkan oleh teknik modulasi *multicarrier level-shifted* untuk semua skema, yaitu 220 Volt. Nilai frekuensi yang mendekati 50 Hz adalah teknik modulasi *multicarrier level-shifted* skema POD yaitu sebesar 50,20 Hz.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis pengukuran maupun pengolahan data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Inverter multilevel *Cascade H-Bridge* (CHB) 5 tingkat satu fasa dengan teknik modulasi *multicarrier phase-shifted* dan *level-shifted* telah berhasil direalisasikan menggunakan Arduino Mega 2560. Teknik modulasi *multicarrier* yang paling baik performanya adalah teknik modulasi *multicarrier phase-shifted*, hal ini dibuktikan dari nilai THD yang kecil yaitu 16,4% dengan spektrum harmonisa rendah yang kecil pula. Sedangkan dari

ketiga skema pada teknik modulasi *multicarrier level shifted* skema yang paling baik performanya adalah skema POD, dari pengukuran didapatkan nilai THD sebesar 22,8%.

2. Teknik modulasi *multicarrier phase-shifted* dapat menggunakan frekuensi *switching* yang seperempat kali lebih kecil (250 Hz) dari teknik modulasi *multicarrier level shifted* dengan kualitas tegangan yang hampir sama.
3. Perbandingan hasil simulasi dan hasil keluaran inverter pada penelitian ini menunjukkan bahwa inverter multilevel *Cascade H-Bridge* (CHB) 5 tingkat satu fasa dengan menggunakan komponen sederhana sudah berhasil direalisasikan .

SARAN

Inverter berkapasitas 1000 watt dapat direalisasikan menggunakan komponen elektronika dengan *rating* arus yang lebih tinggi, misalnya menggunakan transformator dan sakelar elektronik dengan rating arus yang lebih tinggi. Hal ini dapat memperbaiki kekurangan-kekurangan pada performa inverter agar memiliki keluaran yang lebih baik, tetapi hal ini berkonsekuensi dengan biaya yang lebih mahal.

DAFTAR PUSTAKA

- Corzine, K., 2005, *Operation and Design of Multilevel Inverters*, University of Missouri, Rolla.
- Hart, D. W., 2011, *Power Electronics*, The McGraw-Hill Companies, Inc. Avenue of the Americas, New York.
- Wu, B., 2006, *High Power Converters and AC Drivers*, The Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc.
- Yuwono, E. A. T., Warsito A., Facta M., 2011, *Inverter Multilevel tipe jembatan satu fasa tiga tingkat dengan mikrokontroler AT89S51*, Transmisi, Vol. 13, No. 4, hal. 135-140.



Aziz Hari Priyono, lahir di Mataram pada tanggal 31 Agustus 1991, Menempuh Pendidikan Program Strata 1 (S1) di Fakultas Teknik Universitas Mataram sejak tahun 2009.