

Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 15 NOMOR 2

Agustus 2019

Metode Sederhana untuk Mengendalikan Inverter 5-Tingkat Berbasis 95-102
Algoritma $\frac{1}{4} \lambda$

Leonardus Heru Pratomo

JRE	Vol. 15	No. 2	Hal 75–156	Banda Aceh, Agustus 2019	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	------------	-----------------------------	--------------------------------------

Metode Sederhana untuk Mengendalikan Inverter 5-Tingkat Berbasis Algoritma $\frac{1}{4} \lambda$

Leonardus Heru Pratomo
Universitas Katolik Soegijapranata
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang, 50234
e-mail: leonardus@unika.ac.id

Abstrak—*Inverter* dengan harmonisa tegangan rendah pada sisi keluaran merupakan topik yang menarik dan banyak diteliti. Salah satu solusinya adalah *inverter 5-tingkat: Dual Buck DC-DC Converter - H Bridge Inverter (DBC-HBI)*. Metoda pengendalian *inverter* berbasis modulasi lebar pulsa digital sinusoidal (MLPDS) pada umumnya beralgoritma satu atau setengah panjang gelombang (λ). Akan tetapi, satu periode dapat dikonstruksi dengan menggabungkan empat buah algoritma $\frac{1}{4} \lambda$. Pada makalah ini diteliti terkait algoritma MLPDS berbasis $\frac{1}{4} \lambda$ untuk mengendalikan *inverter*. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan kesederhanaan kendali dan besaran memori yang digunakan. Sebagai verifikasi metode yang diusulkan dilakukan pengujian kinerja *inverter* berbasis algoritma panjang gelombang di laboratorium. Berdasarkan hasil ujicoba: algoritma berbasis 1λ memiliki algoritma sederhana akan tetapi menggunakan memori yang besar, sebaliknya algoritma $\frac{1}{4} \lambda$ memiliki algoritma relatif lebih sulit tetapi menggunakan memori lebih sedikit.

Kata kunci: *inverter 5-tingkat, algoritma, panjang gelombang*

Abstract—The inverter with low voltage harmonics on the output side is a very interesting topic, and widely studied. One of these solutions is a 5-levels inverter: Dual Buck DC-DC Converter - H Bridge Inverter (DBC-HBI). The inverter control methods based on digital sinusoidal pulse width modulation (DSPWM) are commonly implemented by one or a half of the wavelength algorithm (λ). However, one period could be constructed by combining four algorithms by $\frac{1}{4} \lambda$. In this paper, an algorithm of DSPWM based on a $\frac{1}{4} \lambda$ algorithm is investigated. The aim of this research is the simplest control and capacities of memory. Finally, a verification of the proposed method was carried out by the experiment in the laboratory. Based on the laboratory tests: 1λ algorithm has a simple algorithm, but uses large memory, whereas a $\frac{1}{4} \lambda$ algorithm more complicated but uses less memory.

Keywords: *5-level inverter, algorithm, wavelength*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Inverter merupakan alat konversi energi listrik dalam bentuk besaran listrik DC ke besaran listrik AC. Pemanfaatan *inverter* ini banyak dijumpai pada aplikasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mandiri [1]; [2]. Berdasarkan bentuk gelombang, *inverter* tipe sinusoidal memiliki beberapa keuntungan antara lain minimnya harmonisa pada sisi keluaran [3]–[5]. *Inverter 5-tingkat tipe Dual Buck DC-DC Converter-H Bridge Inverter (DBC-HBI)* memiliki struktur topologi yang sederhana dan terbukti memiliki THD tegangan yang kecil [6]–[9], maka pada makalah ini dipilih *inverter* tipe DBC-HBI. Metode pengendalian *inverter* dengan bentuk gelombang sinusoidal dapat diimplementasi menggunakan sistem analog dan digital. Pada perkembangannya sistem digital lebih banyak diminati dari pada sistem analog karena beberapa faktor: sederhana dan kompak [9]–[17].

Beberapa peneliti telah mengembangkan teknik pengendalian digital berbasis *micro-controller* [18], [9], [11] dan berbasis *Digital Sinyal Prosesor (DSP)* [12]; [19];

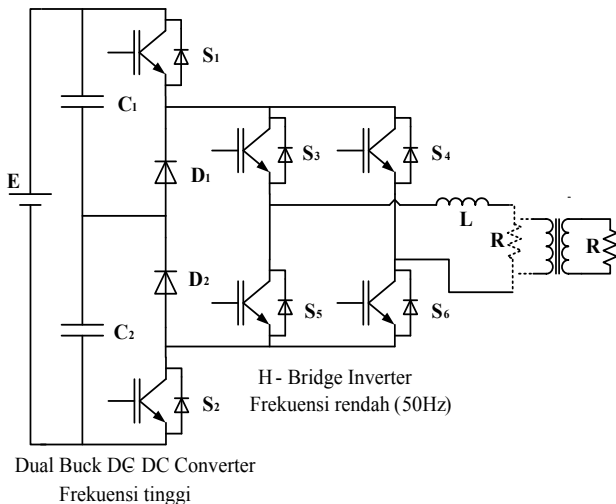
[20] atau *Field Programmable Gate Array (FPGA)* [13]–[17]. Pengendalian berbasis *micro-controller* memiliki keterbatasan terkait memori dan kecepatan pengolahan sinyal karena algoritma yang sulit [8]–[10], solusinya menggunakan DSP dan FPGA. Pemanfaatan DSP dan FPGA mampu mengimplementasi algoritma yang sulit, misal gelombang sinusoidal diimplementasi secara langsung di dalamnya dan sistem ini dilengkapi dengan memori yang besar akan tetapi harganya mahal [19], [12]–[17]. Peneliti terkait algoritma berbasis panjang gelombang (λ) yaitu $\frac{1}{2} \lambda$ telah dikembangkan dengan teknik pengendalian digital yang diimplementasi menggunakan DSP tipe dsPIC304012 [20] dengan memodifikasi gelombang sinusoidalnya. Sistem ini diaplikasikan pada *inverter* dengan sistem *loop* terbuka akan tetapi algoritma yang digunakan masih dianggap sulit dan harga DSP yang mahal. Penelitian lain [18] menerapkan algoritma satu gelombang penuh menggunakan modulasi lebar pulsa digital sinusoidal (MLPDS) terprogram, sistem ini diimplementasi menggunakan *micro-controller* tipe 89S52, karena keterbatasan memori maka dikembangkan metode

yang lain. Metode algoritma $\frac{1}{2} \lambda$ [9] dikembangkan untuk mengatasi masalah ini. Data MLPDS diprogram dalam ATmega 8535 untuk kemudian dimanfaatkan mengerakkan saklar daya. Pada penelitian menggunakan algoritma $\frac{1}{2} \lambda$ menggunakan MLPDS terprogram. Data MLPDS didapatkan dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *Power Simulator* (PSIM). Hasil simulasi PSIM memuat beberapa file salah satunya adalah file *.txt. File ini memuat data MLPDS hasil simulasi. Hasil ini dapat langsung digunakan untuk mengoperasikan *inverter* dengan mencacah sebanyak data MLPDS. Metode ini memiliki algoritma sederhana karena hanya memanfaatkan pencacah untuk mengalami memori dan dapat langsung digunakan untuk mengerakkan saklar daya, lebih lanjut akan diuraikan di bagian II.

Metode baru diusulkan pada makalah ini yaitu algoritma pengendalian *inverter* dengan memanfaatkan MLPDS $\frac{1}{4} \lambda$. Metode baru ini akan dibandingkan dengan metode-metode yang pernah ada. Sebagai tahap lanjut akan dianalisis algoritma MLPDS berbasis panjang gelombang. Sebagai tahap akhir dilakukan verifikasi pengujian di laboratorium untuk menguji masing-masing algoritma untuk mendapatkan rekomendasi algoritma yang paling sederhana dan memori yang sekecil mungkin.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Inverter 5-tingkat tipe DBC-HBI [6]–[9] memiliki topologi seperti pada Gambar 1. *Inverter* tipe DBC-HBI pada prinsipnya terdiri dari dua buah konverter yaitu: dua buah konverter tipe *Buck* untuk membentuk tingkatan yang dioperasikan pada frekuensi tinggi dan *inverter* tipe jembatan yang lazim disebut *H-Bridge* yang dioperasikan pada frekuensi jala-jala sebagai pembalik polaritas tegangan. *Inverter* ini memiliki dua teknik modulasi lebar pulsa [8] yaitu: menggunakan sinyal pembawa bertingkat dan sinyal pembawa tergeser 180° . Pada saat sinyal pembawa bertingkat digunakan keseimbangan tegangan pada kapasitor *bulk* perlu penanganan khusus akan tetapi jika menggunakan sinyal pembawa tergeser 180° tegangan



Gambar 1. Inverter 5-tingkat tipe DBC-HBI

Tabel 1. Tegangan keluaran *inverter* 5-tingkat tipe DBC-HBI terhadap suatu fungsi pensaklaran

Vo	S1	S2	S3	S4	S5	S6	D1	D2
E	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off
E/2	On	Off	On	Off	Off	On	Off	On
E/2	Off	On	On	Off	Off	On	On	Off
0	Off	Off	On	Off	Off	On	On	On
0	Off	Off	Off	On	On	Off	On	On
-E/2	Off	On	Off	On	On	Off	On	Off
-E/2	On	Off	Off	On	On	Off	Off	On
E	On	On	Off	On	On	Off	Off	Off

di kapasitor *bulk* akan seimbang secara otomatis [6]. Pada Tabel 1 terlihat tegangan keluaran *inverter* 5-tingkat terhadap suatu fungsi pensaklaran dalam satu periode.

Saat setengah siklus positif pada kondisi $0 \leq m_1 \leq 1/2$, tegangan keluaran *inverter* sebesar $E/2$ (arus induktor naik), berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}
 E - V_c &= v_L + V_o \\
 \frac{E}{2} &= L \frac{di_L}{dt} + V_o \\
 L \frac{di_L}{dt} &= \frac{E}{2} - V_o \\
 L \Delta i_L &= \left(\frac{E}{2} - V_o \right) \Delta t = \left(\frac{E}{2} - V_o \right) t_{on} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Saat setengah siklus positif, tegangan keluaran *inverter* sebesar $0 E$ (arus induktor turun), berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}
 v_L &= V_o - v_d \\
 L \frac{di_L}{dt} &= V_o - 0 \\
 L \Delta i_L &= V_o \Delta t = V_o t_{off} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Sinyal pembawa yang digunakan adalah tergeser 180° , sehingga waktu t_{on} dan t_{off} ada dua kondisi dalam satu periode, maka persamaan (1) disubstitusikan ke persamaan (2) didapatkan:

$$V_o = \frac{E}{2} \frac{2t_{on}}{T_s} = m_1 E \quad (3)$$

Saat setengah siklus positif pada kondisi $1/2 \leq m_2 \leq 1$, tegangan keluaran *inverter* sebesar E (arus induktor naik) berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}
 E &= v_L + V_o \\
 E &= L \frac{di_L}{dt} + V_o \\
 L \frac{di_L}{dt} &= E - V_o \\
 L \Delta i_L &= (E - V_o) \Delta t = (E - V_o) t_{on} \quad (4)
 \end{aligned}$$

Saat setengah siklus positif, tegangan keluaran *inverter* sebesar $E/2$ (arus induktor turun) berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}
 v_L &= V_o - (E - V_c) \\
 L \frac{di_L}{dt} &= V_o - \frac{E}{2}
 \end{aligned}$$

$$L\Delta i_L = \left(V_o - \frac{E}{2} \right) \Delta t = \left(V_o - \frac{E}{2} \right) t_{off} \quad (5)$$

Sinyal pembawa yang digunakan adalah tergeser 180°, sehingga waktu t_{on} dan t_{off} ada dua kondisi dalam satu periode, maka persamaan (4) disubstitusikan ke persamaan (5) didapatkan:

$$V_o = \frac{E}{2} \frac{2t_{on}}{T_s} = m_2 E \quad (6)$$

Jika m_1 merupakan indeks modulasi saat sinyal informasi berada pada kondisi $0 \leq m_1 \leq 1/2$ dan m_2 merupakan indeks modulasi saat sinyal informasi berada pada kondisi $1/2 \leq m_2 \leq 1$ maka persamaan umum *inverter* pada kondisi satu gelombang penuh dapat diturunkan sebagai berikut:

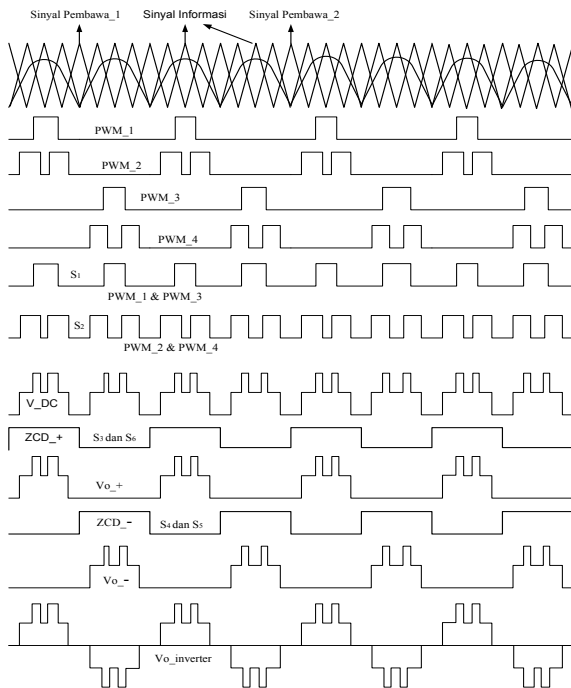
$$V_o = m E \quad (7)$$

Persamaan (7) dapat diintegrasikan dengan transformator sebagai penguat tegangan, seperti pada Gambar 1 didapatkan persamaan:

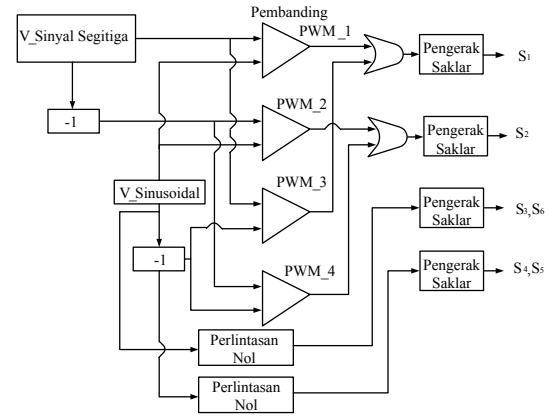
$$V_o = \frac{N_s}{N_p} m E \quad (8)$$

Dimana m (indeks modulasi) merupakan gabungan dari m_1 dan m_2 . Berdasarkan fungsi pensaklaran dapat dibuat strategi pengendalian berbasis sinyal pembawa tergeser 180° seperti pada Gambar 2 dan diagram blok kendali seperti pada Gambar 3.

Pola MLPDS didapatkan dari simulasi PSIM secara langsung. Suatu simulasi *inverter* 5-tingkat tipe DBC-HBI seperti Gambar 1 dikendalikan dengan MLPDS seperti Gambar 2 akan menghasilkan empat buah file yaitu: *.txt, *.smv, *.csv dan *.sch. File *.txt berisikan MLPDS



Gambar 2. Strategi pengendalian inverter 5-tingkat berbasis sinyal pembawa tergeser 180°

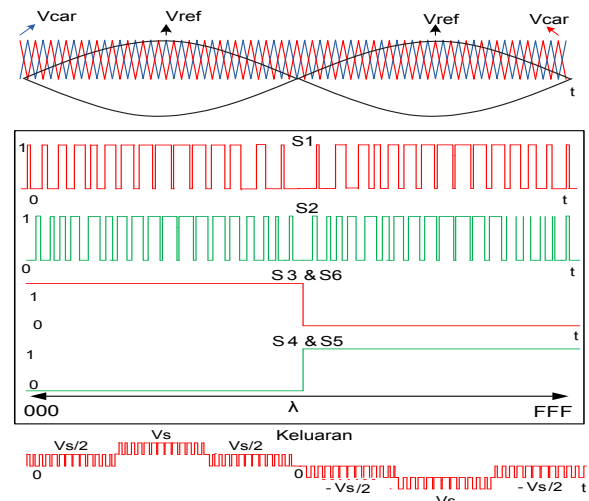


Gambar 3. Diagram blok kendali MLPDS

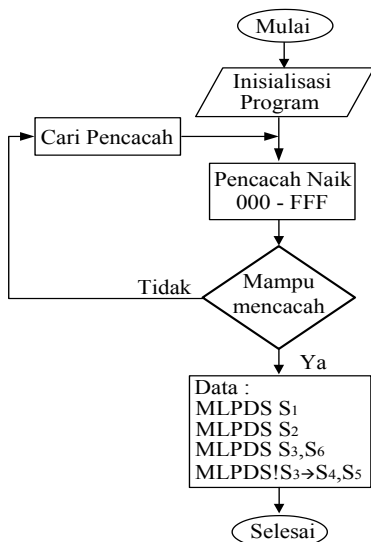
yang diinginkan, untuk memperoleh logika pensaklaran “0” (off) dan “1” (on) maka dilakukan modifikasi data menggunakan *Microsoft excel*. Data MLPDS dari *Microsoft excel* (.xls) kemudian dimasukkan ke dalam *flash memory micro-controller*. Suatu gelombang sinusoidal didapatkan dengan tiga cara yaitu: membaca satu gelombang penuh, membaca setengah gelombang (setengah siklus positif) kemudian gelombang itu dibaca secara terbalik (setengah siklus negatif) untuk mendapatkan satu gelombang penuh dan seperempat gelombang kemudian dibaca mundur (setengah siklus positif) untuk mendapatkan gelombang setengahnya lagi dilakukan pembacaan kebalikan dari semula (setengah siklus negatif).

A. Algoritma 1 λ

Pola pensaklaran MLPDS dengan menggunakan 1 λ seperti terlihat pada Gambar 4. Pola ini menggunakan satu periode penuh gelombang sinusoidal sebagai gelombang informasi yang akan dimodulasi oleh *inverter* DBC-HBI. Berdasarkan algoritma pemrograman 1 λ dari Gambar 4 dapat dibuat suatu diagram alir pemrograman seperti pada Gambar 5. Data MLPDS selalu dialamati oleh suatu pencacah naik, seperti terlihat pada Gambar 5 yaitu



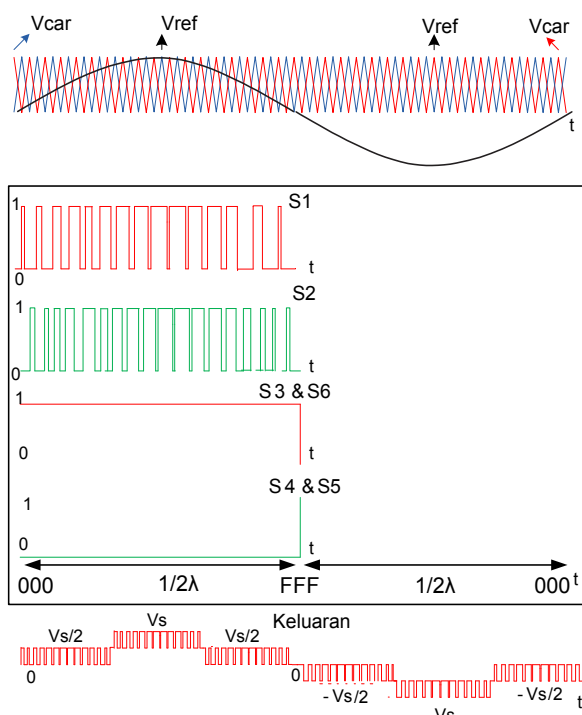
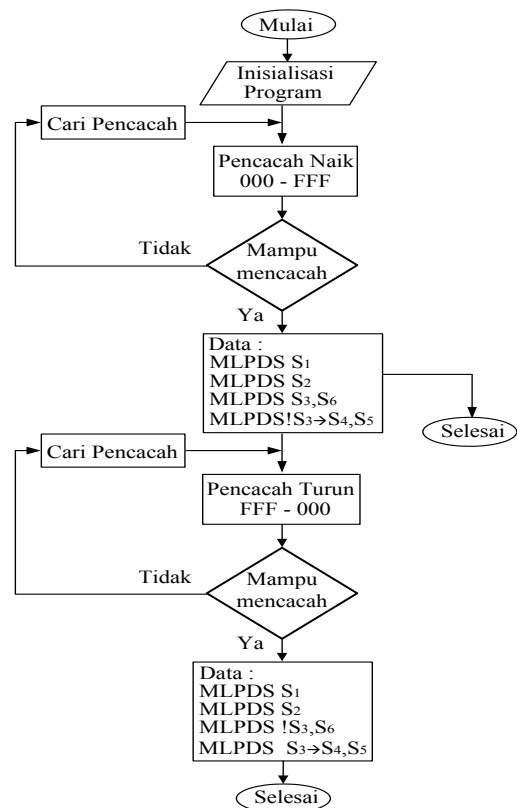
Gambar 4. Algoritma pemrograman 1 λ

Gambar 5. Diagram alir pemrograman 1λ

menggunakan pencacah naik dari 000 sampai FFF.

B. Algoritma $\frac{1}{2}\lambda$

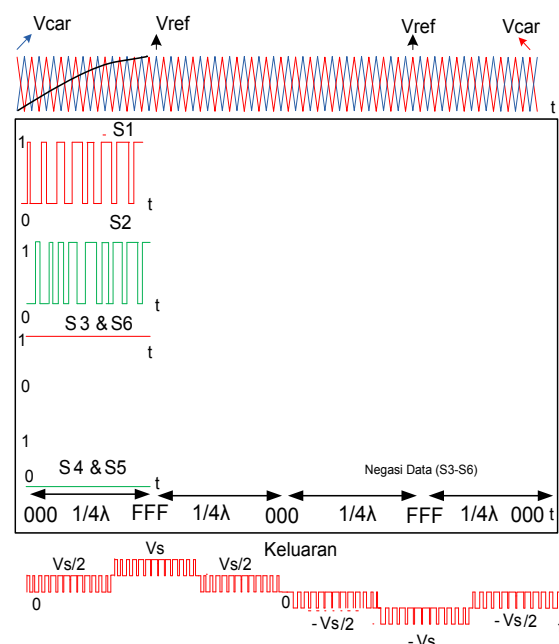
Pola pensaklaran MLPDS dengan menggunakan $\frac{1}{2}\lambda$ seperti terlihat pada Gambar 6. Pola ini menggunakan setengah periode penuh gelombang sinusoidal sebagai gelombang informasi yang akan dimodulasi oleh *inverter* DBC-HBI. Berdasarkan algoritma pemrograman $\frac{1}{2}\lambda$ dari Gambar 6 dapat dibuat suatu diagram alir pemrograman seperti pada Gambar 7. Data MLPDS selalu dialamati oleh suatu pencacah naik dan pencacah turun, seperti pada Gambar 7 yaitu menggunakan pencacah naik dari 000 sampai FFF kemudian dilanjutkan dari FFF sampai 000

Gambar 6. Algoritma pemrograman $\frac{1}{2}\lambda$ Gambar 7. Diagram alir pemrograman $\frac{1}{2}\lambda$

untuk membentuk satu periode.

C. Algoritma $\frac{1}{4}\lambda$

Pola pensaklaran MLPDS yang berikutnya adalah yang diusulkan dan telah diteliti yaitu menggunakan $\frac{1}{4}\lambda$ seperti terlihat pada Gambar 8. Pola ini menggunakan seperempat periode penuh gelombang sinusoidal sebagai gelombang informasi yang akan dimodulasi oleh *inverter*

Gambar 8. Algoritma pemrograman $\frac{1}{4}\lambda$

Tabel 2. Parameter eksperimen

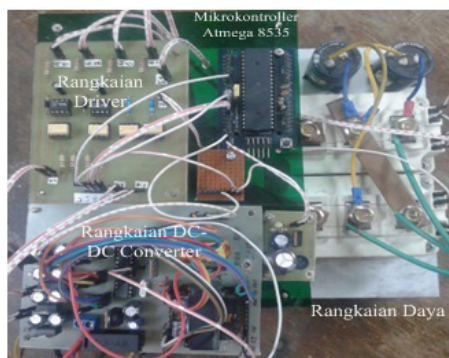
No	Parameter	Nilai
1.	Tegangan DC	60 Volt
2.	Kapasitor	220uF/450V
3.	Induktor	1,8 mH
4.	Beban	500 Watt
5.	Frekuensi pensaklaran 1λ	5KHz
6.	Frekuensi pensaklaran $\frac{1}{2} \lambda$	10KHz
7.	Frekuensi pensaklaran $\frac{1}{4} \lambda$	20KHz
8.	Saklar	Infineon IGBT tipe FF100R12K24
9.	Indeks modulasi	0,9
10.	Transformator step up	1 : 5,25

DBC-HBI. Berdasarkan algoritma pemrograman $\frac{1}{4} \lambda$ dari Gambar 8 dapat dibuat suatu diagram alir pemrograman seperti pada Gambar 9. Data MLPDS selalu dialamati oleh suatu pencacah naik (000 sampai FFF), pencacah turun (000 sampai FFF), pencacah naik (000 sampai FFF) dan pencacah turun (000 sampai FFF), untuk membentuk satu periode. Algoritma yang diusulkan ini memiliki data digital lebih sedikit sehingga memori yang tersimpan juga $\frac{1}{4}$ lebih sedikit dari pada algoritma pemrograman 1λ .

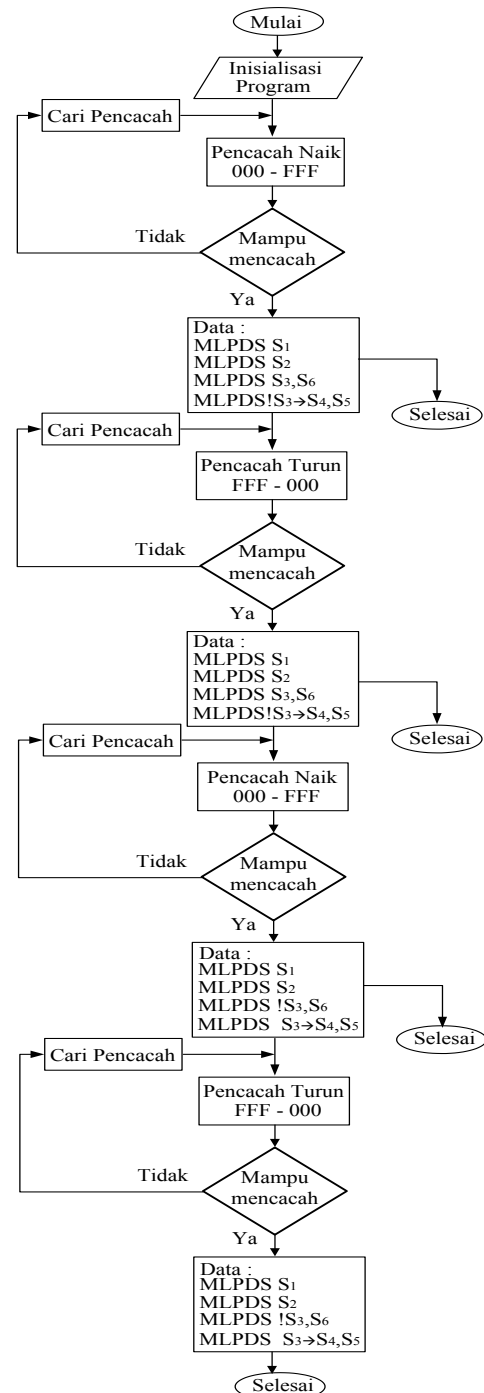
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah analisis pengendalian MLPDS berbasis panjang gelombang dilakukan, tahap selanjutnya dilakukan uji coba di laboratorium. Suatu *micro-controller* tipe ATmega 8535 digunakan sebagai alat kendali untuk masing-masing saklar daya dan catu daya penggerak saklar daya menggunakan *DC-DC converter* tipe *push-pull* yang diimplementasi seperti pada Gambar 10. Berikut ini adalah Tabel 2 parameter yang digunakan dalam uji coba.

Pada pengujian yang pertama dilakukan dengan menggunakan algoritma 1λ dengan menggunakan frekuensi pensaklaran sebesar 5 KHz dan banyaknya data yang dapat diperoleh sebanyak 1024 data serta kapasitas memori yang digunakan sebesar 10 Kbyte, maka untuk pemrograman $\frac{1}{2} \lambda$ dan $\frac{1}{4} \lambda$ juga akan menggunakan kapasitas yang sama, sehingga untuk pemrograman $\frac{1}{2} \lambda$ akan digunakan frekuensi pensaklaran sebesar dua kali frekuensi pensaklaran 1λ sebesar 10 KHz dan untuk $\frac{1}{4} \lambda$



Gambar 10. Rangkaian uji coba di laboratorium

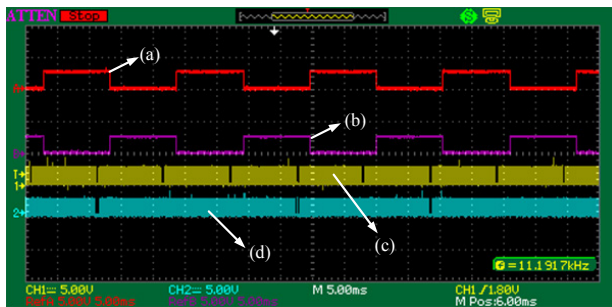


Gambar 9. Algoritma pemrograman $\frac{1}{4} \lambda$

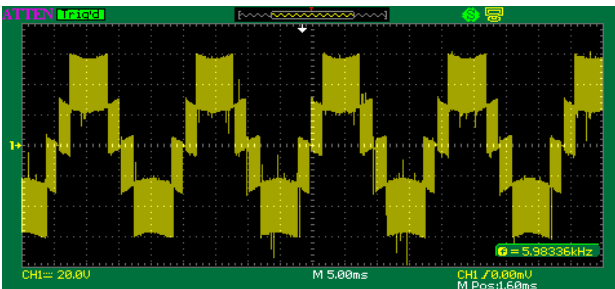
akan digunakan frekuensi pensaklaran sebesar empat kali frekuensi pensaklaran 1λ sebesar 20 KHz. Dari pemanfaatan kapasitas memori yang sama tetapi frekuensi pensaklaran akan meningkat, sehingga kinerja *inverter* juga akan meningkat.

Berdasarkan Gambar 4, memori 1λ yang digunakan akan dua kali lebih banyak daripada memori $\frac{1}{2} \lambda$ (Gambar 6) dan empat kali lebih banyak daripada memori $\frac{1}{4} \lambda$ (Gambar 8). Gambar 11 adalah hasil pengukuran di tiap saklar daya.

Setelah didapatkan hasil pengukuran di tiap saklar daya, maka dilanjutkan pengukuran di tiap lengan *inverter*



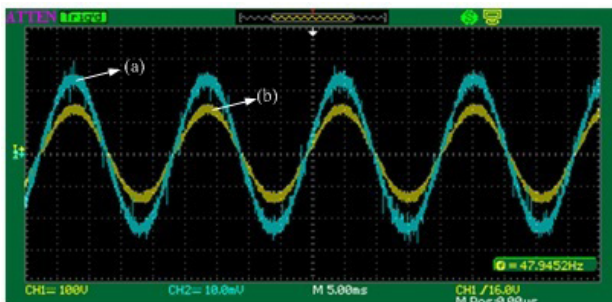
Gambar 11. Hasil pengukuran di tiap saklar daya untuk pemrograman 1λ , (a) saklar S3 dan S6, (b) saklar S4 dan S5, (c) saklar S1, (d) saklar S2



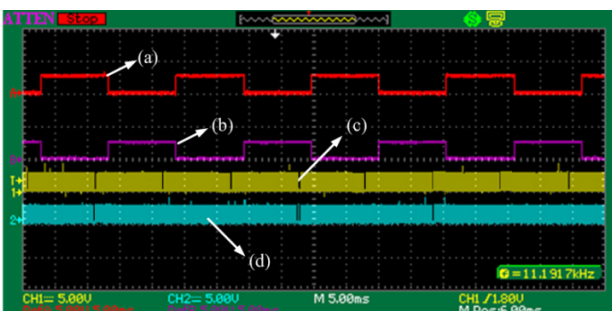
Gambar 12. Keluaran inverter tipe DBC-HBI di lengan inverter H-bridge untuk pemrograman 1λ

H- bridge seperti pada Gambar 12. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa *inverter* yang diuji coba mampu menghasilkan keluaran sebanyak 5-tingkat.

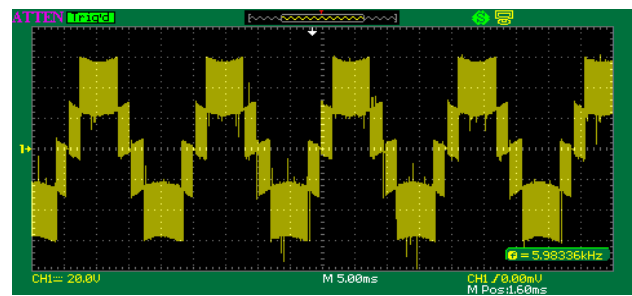
Uji coba dilanjutkan dengan mengukur besarnya THD tegangan keluaran pada beban resistif dengan alat ukur *Power Meter* Hioki tipe 3268-20, didapatkan nilai sebesar 2,4%. Berikut ini Gambar 13 merupakan gambar bentuk



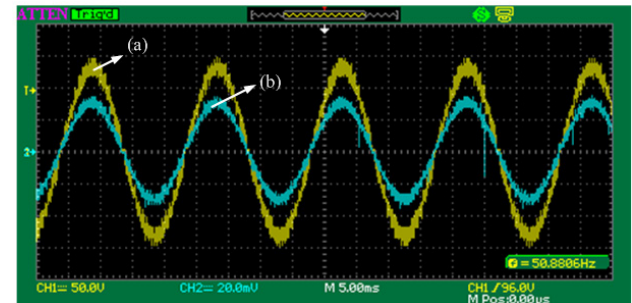
Gambar 13. Gelombang keluaran inverter tipe DBC-HBI setelah dikuatkan dan ditapis untuk pemrograman 1λ , (a). Gelombang tegangan, (b). Gelombang arus



Gambar 14. Hasil pengukuran di tiap saklar daya untuk pemrograman $\frac{1}{2}\lambda$, (a) saklar S3 dan S6, (b) saklar S4 dan S5, (c) saklar S1, (d) saklar S2



Gambar 15. Keluaran inverter tipe DBC-HBI di lengan inverter H-bridge untuk pemrograman $\frac{1}{2}\lambda$



Gambar 16. Gelombang keluaran inverter tipe DBC-HBI setelah dikuatkan dan ditapis untuk pemrograman $\frac{1}{2}\lambda$, (a). Gelombang tegangan, (b). Gelombang arus

arus dan tegangan keluaran *inverter* DBC-HBI dengan menggunakan pemrograman 1λ .

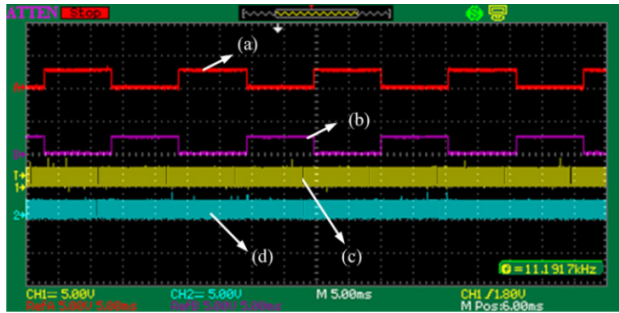
Pada pengujian yang kedua dilakukan dengan menggunakan algoritma $\frac{1}{2}\lambda$, dilakukan dengan cara meningkatkan frekuensi pensaklaran sebesar 10 KHz dan banyaknya data yang diperoleh sebanyak 1024 data (dua kali dari uji coba pertama). Berikut ini adalah Gambar 14, hasil pengukuran di tiap saklar daya.

Setelah didapatkan hasil pengukuran di tiap saklar daya, maka dilanjutkan pengukuran di tiap lengan *inverter* H- bridge seperti pada Gambar 15. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa *inverter* yang diuji coba mampu menghasilkan keluaran sebanyak 5-tingkat.

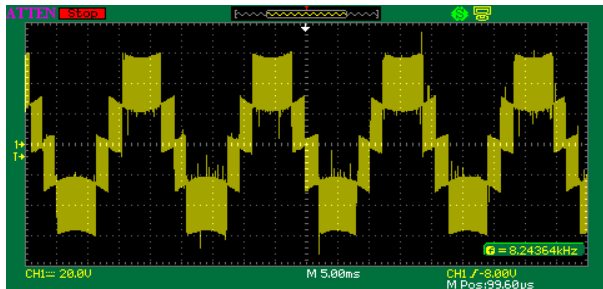
Ujicoba dilanjutkan dengan mengukur besarnya THD tegangan keluaran, didapatkan nilai sebesar 1.2 %. THD ini lebih kecil karena menggunakan frekuensi pensaklaran dua kali lipat dari uji coba yang pertama walaupun menggunakan jumlah data yang sama. Berikut ini Gambar 16 merupakan gambar bentuk arus dan tegangan keluaran *inverter* DBC-HBI dengan menggunakan pemrograman $\frac{1}{2}\lambda$.

Pada pengujian yang ketiga dilakukan dengan menggunakan algoritma yang diusulkan yaitu $\frac{1}{4}\lambda$, dilakukan dengan meningkatkan frekuensi pensaklaran sebesar 20 KHz dan banyaknya data yang diperoleh sebanyak 1024 data (empat kali dari ujicoba pertama). Berikut ini adalah Gambar 17, hasil pengukuran di tiap saklar daya.

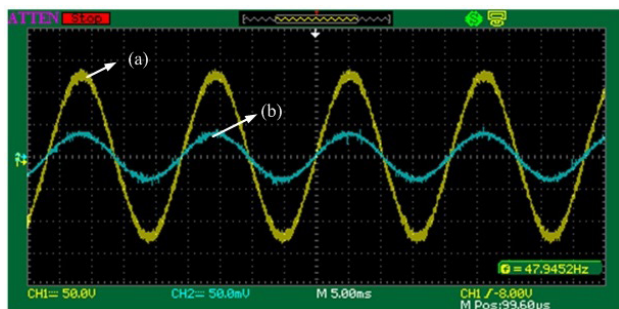
Setelah didapatkan hasil pengukuran di tiap saklar daya, maka dilanjutkan pengukuran di tiap lengan *inverter* H- bridge seperti pada Gambar 18. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa *inverter* yang diuji coba mampu



Gambar 17. Hasil pengukuran di tiap saklar daya untuk pemrograman $\frac{1}{4} \lambda$, (a) saklar S3 dan S6, (b) saklar S4 dan S5, (c) saklar S1, (d) saklar S2



Gambar 18. Keluaran inverter tipe DBC-HBI di lengan inverter H-bridge untuk pemrograman $\frac{1}{4} \lambda$



Gambar 19. Gelombang keluaran inverter tipe DBC-HBI setelah dikuatkan dan ditapis untuk pemrograman $\frac{1}{4} \lambda$, (a). Gelombang tegangan, (b). Gelombang arus

menghasilkan keluaran sebanyak 5-tingkat.

Uji coba dilanjutkan dengan mengukur besar THD tegangan keluaran, yaitu sebesar 0,42%. THD ini lebih kecil karena menggunakan frekuensi pensaklaran empat kali lipat dari uji coba yang pertama walaupun menggunakan jumlah data yang sama. Gambar 19 merupakan gambar bentuk arus dan tegangan keluaran inverter DBC-HBI dengan menggunakan pemrograman $\frac{1}{4} \lambda$.

Dari hasil uji coba algoritma pemrograman berbasis panjang gelombang terlihat bahwa pemrograman beralgoritma $\frac{1}{4} \lambda$ dimungkinkan untuk dilakukan. Besarnya penentuan waktu time step pada simulator PSIM akan berpengaruh pada frekuensi segitiga yang digunakan dan juga banyaknya data yang digunakan. Terlihat bahwa dengan jumlah data (memori) yang sama tetapi frekuensi yang berbeda (lebih tinggi) akan menghasilkan nilai keluaran yang jauh lebih baik yaitu dengan pemrograman beralgoritma $\frac{1}{4} \lambda$.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pengujian di laboratorium, algoritma MLPDS berbasis panjang gelombang dapat diterapkan di inverter 5-tingkat yang diimplementasikan menggunakan inverter tipe DBC-HBI. Hasil ujicoba algoritma berbasis 1λ memiliki algoritma sederhana akan tetapi menggunakan memori yang besar, sebaliknya algoritma $\frac{1}{4} \lambda$ memiliki algoritma relatif lebih sulit tetapi menggunakan memori lebih sedikit. Pada pengujian THD tegangan didapatkan sebesar 2,4% untuk algoritma 1λ , 1,2% untuk algoritma $\frac{1}{2} \lambda$ dan 0,42% untuk algoritma $\frac{1}{4} \lambda$. Algoritma pemrograman MLPDS berbasis algoritma $\frac{1}{4} \lambda$ dapat diimplementasi dan terbukti dengan jumlah memori yang sama tetapi hasilnya lebih baik karena jumlah data yang diambil lebih banyak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (RISTEKDIKTI) dalam skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi tahun anggaran 2019.

REFERENSI

- [1] S. Daher, J. Schmid, and I. M. Antunes, "Multilevel Inverter Topologies for Stand-Alone PV Systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 55, pp. 2703-2712, Jul 2008.
- [2] A. Nouaiti, A. Saad, A. Khafallah, A. Mesbahi, and K. Chikh, "Simple Single Phase Five Level Inverter for PV Applications", *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol 4, pp. 5245-5252, Jun 2015.
- [3] C. A. Espinosa, "Minimization of THD and Angle calculation for Multilevel Inverters", *International Journal of Engineering & Technology*, Vol 12, pp. 83-86, Oct 2012.
- [4] A. A. Joshi, and R. M. Nagarale, "Resonant Controller to Minimize THD for PWM Inverter", *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol 10, pp. 49-53, 2015, May-Jun 2015.
- [5] Effendi1, Ira Devi Sara, dan Rakhmad Syafutra Lubis, "Disain SPWM Multilevel Inverter Satu Fasa Lima Belas Level", *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, Vol. 12, No. 2, hal. 60-66, Agustus 2016.
- [6] L. H. Pratomo, F. D. Wijaya, and E. Firmansyah, "A Simple Strategy of Controlling a Balanced Voltage Capacitor in Single Phase Five-Level Inverter", *International Journal of Power Electronics and Drive System*, Vol 6, pp. 160-167, March 2015.
- [7] J. M. Shen, L. H. Jou, C. J. Wu, and D. K. Wu, "Five-Level Inverter for Renewable Power Generation System", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol 28, pp. 257-266, June 2013.
- [8] L. H. Pratomo, *Metode Pengiriman Daya Maksimal dari Modul Surya ke Grid satu Fase Menggunakan Inverter 5-Tingkat*. Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada, 2016.
- [9] Y. Ivandra dan L. H. Pratomo, "Implementasi MLDS $\frac{1}{2} \lambda$ pada ATmega 8535 untuk aplikasi inverter 5-Tingkat", *Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, Okt. 2016, pp 52-56.
- [10] C. Buccella, C. Cecati, and H. Latafat, "Digital control of power converters-a survey", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol 8, pp. 437-447, Agt 2010.

- [11] T. A. B. Ismail, A. Saad, M. Isa, and C. Hadzer, "Development of a single phase spwm microcontroller-based inverter", *Power and Energy Conference*, Nov 2006, hal. 437–440.
- [12] F. M. Tajuddin, N. G. Daut, and B. Ismail, "Implementation of dsp based spwm for single phase inverter", *Conference: Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion*, June, 2010, pp 1129 –1134.
- [13] A. Afarulrazi, M. Zafari, W. Utomo, and A. Zar, "Fpga implementation of unipolar spwm for single phase inverter", *International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*, Dec. 2010, pp. 671 –676.
- [14] E. Monmasson, and M. Cirstea, "FPGA design methodology for industrial control systems—A review", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 54, pp. 1824–1842, Agt 2007.
- [15] M. Hamouda, F. H. Blanchette, K. Al-Haddad, and F. Fnaiech, "An efficient DSP-FPGA-based real-time implementation method of SVM algorithms for an indirect matrix converter", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 58, pp 5024-5031, Nov 2011.
- [16] S. Y. Kung, and H. M. Tsai, "FPGA-based speed control IC for PMSM drive with adaptive fuzzy control", *IEEE Transactions Power Electronics*, Vol 22, pp. 2476-2486, Nov 2007.
- [17] A. Agarwal, & V. Agarwal, "Field programmable gate array-based delta-modulated cycloinverter", *IET Power Electronics*, Vol 5, pp. 1793-1803, Nov 2012.
- [18] L. H. Pratomo, "Pemanfaatan Mikrokontroler Tipe 89S52 Sebagai pengendali Multilevel Inverter", *Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, Agt. 2009, pp hal. 137-141.
- [19] O. Pop, C. Chindris, and A. Dulf, "Using DSP technology for true sine PWM generators for power inverters", *27th International Spring Seminar on Electronics Technology: Meeting the Challenges of Electronics Technology Progress*, May. 2004, pp 141 -146.
- [20] Y. F. Sidik, F. D. Wijaya, dan E. Firmansyah, "Sinusoidal Pulse Width Modulation Berbasis Lookup Table untuk Inverter Satu Fasa Menggunakan 16 Bit Digital Sinyal Conditioner", *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknik Informasi*, Vol 2, pp. 47-50, Mei 2013.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

