

P-31

REGULATOR TEGANGAN MENGGUNAKAN INVERTER SATU FASA BERBASIS DIRECT DIGITAL SYNTHESIS DENGAN PENGENDALI PI DAN PWM

VOLTAGE REGULATOR USE SINGLE-PHASE INVERTER BASED ON DIRECT DIGITAL SYNTHESIS WITH PI AND PWM CONTROL

Turahyo^{1*},Noviarianto²

¹*Sekolah Tinggi Teknologi Bontang, Bontang*

²*Politeknik Maritim Negeri Indonesia, Semarang*

turahyoahyo@gmail.com

Diterima 07-10-2018	Diperbaiki 22-11-2018	Disetujui 21-12-2018
---------------------	-----------------------	----------------------

ABSTRAK

Konsumen listrik yang berada jauh dari pembangkit listrik pada ujung saluran distribusi rentan terhadap penurunan tegangan listrik. Hal ini mengakibatkan peralatan listrik konsumen yang sensitif terhadap fluktuasi tegangan listrik mengalami kerusakan. Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan peralatan yang dapat memperbaiki kualitas tegangan listrik konsumen. Inverter merupakan salah satu peralatan yang dapat digunakan untuk meningkatkan tegangan listrik. Direct digital synthesis (DDS) merupakan metode yang digunakan untuk membangkitkan sinyal SPWM pada inverter. Tegangan listrik keluaran inverter dikontrol dengan mengatur besaran indeks modulasi pada pembangkit SPWM. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler dsPIC30F4011 sebagai kendali sistem dan pembangkit sinyal SPWM dengan umpan balik menggunakan pengendali PI. Hasil penelitian menunjukkan bentuk tegangan keluaran inverter berbentuk gelombang sinusoida. Untuk menghasilkan tegangan sebesar 225 volt ac pada saat dihidupkan pertama kali, waktu yang dibutuhkan sebesar 3,6 detik dengan nilai $K_p=0,00125$ dan $K_i=0,004$ pada respon waktu kendali PI kalang tertutup. Sedangkan respon tegangan keluaran inverter satu fasa berosilasi sebesar 47 volt atau sebesar 20,9%.

Kata kunci: *Inverter, Direct digital synthesis, SPWM, Kualitas tegangan, Mikrokontroler*

ABSTRACT

Electricity consumers who are far from the power plant at the end of the distribution channel are susceptible to a decrease in electric voltage. This results in consumer electrical equipment that is sensitive to electrical voltage fluctuations damaged. Based on these problems, equipment is needed that can improve the quality of customer electricity voltage. The inverter is one of the tools that can be utilized to increase the voltage. Direct digital synthesis (DDS) is an approach used to generate SPWM signals on an inverter. The inverter output voltage is monitored by adjusting the modulation index magnitude of the SPWM generator. This research uses dsPIC30F4011 microcontroller as a system control and SPWM signal generator with feedback using PI control. The results of the study showed that the shape of the sinusoidal waveform output voltage. To produce a voltage of 225 volts ac when turned on the first time required is 3.6 seconds with a value of $K_p = 0.00125$ and $K_i = 0.004$ in the response time PI control closed loop. While the single-phase inverter output voltage of oscillates at 47 volts or 20.9%.

Keywords: *Inverter, Direct digital synthesis, SPWM, Voltage quality, Microcontroller*

PENDAHULUAN

Salah satu kebutuhan pokok manusia adalah energi. Saat ini sumber energi

didominasi oleh sumber energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi, batubara, dan gas alam. Penggunaan energi

tersebut dapat dikurangi dengan meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang dihasilkan dari sumber energi yang tersedia di alam ini.

Di Indonesia perbandingan kapasitas beban listrik yang di pakai oleh konsumen tidak sebanding dengan kapasitas energi listrik yang dibangkitkan. Hal ini menyebabkan devisa energi yang pada akhirnya menghasilkan kualitas energi listrik yang dihasilkan pembangkit listrik menjadi kurang baik. Konsumen listrik yang berada jauh dari pembangkit listrik pada ujung saluran distribusi rentan terhadap penurunan tegangan listrik. Hal ini mengakibatkan peralatan listrik konsumen yang sensitif terhadap fluktuasi tegangan listrik mengalami kerusakan. Berdasarkan hal tersebut diperlukan suatu peralatan yang mampu meningkatkan kualitas tegangan listrik pada konsumen. Inverter merupakan salah satu solusi yang mampu meningkatkan kualitas tegangan. dengan menggunakan inverter, tegangan listrik dapat dikendalikan dengan mengatur besaran indeks modulasi pada pembangkit PWM.

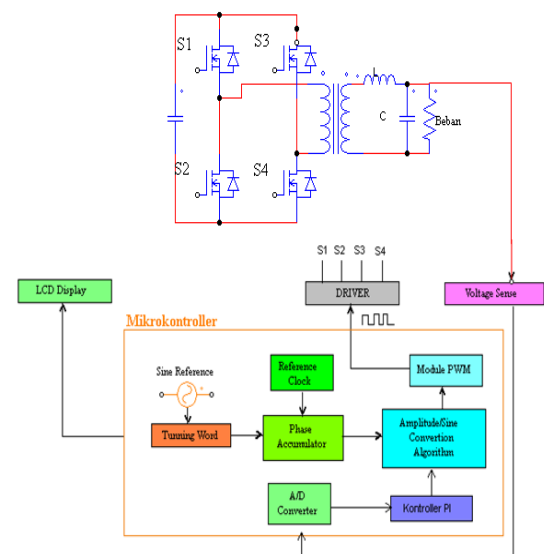
Dengan menggunakan kendali daya aktif inverter satu fasa mampu memberikan daya reaktif ke *grid* seperti yang dilakukan pada penelitian [1]. Dalam penelitian ini dilakukan melalui simulasi menggunakan program Komputer. Teknik *look-up table* digunakan untuk membangkitkan sinyal SPWM. Teknik ini mampu menghasilkan THD tegangan yang lebih kecil dengan menambahkan kontrol *dead time* pada sinyal *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM) yang dibangkitkan. Selain itu pada penelitian ini menggunakan dua buah SPWM yang mempunyai perbedaan sudut sebesar 180° [2]. Teknik pensaklaran *bipolar* SPWM digunakan untuk mengimplementasikan inverter satu fasa. Teknik tersebut menggunakan topologi *full bridge inverter* sebagai saklar dayanya untuk menekan THD tegangan yang tinggi [3-4]. Teknik pensaklaran *bipolar* SPWM diakui mempunyai THD tegangan yang cukup tinggi, akan tetapi teknik tersebut mampu menghasilkan efisiensi yang hampir 98% dengan penyerapan konsumsi daya yang cukup rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Liu H menggunakan pensaklaran *full bridge* dengan

teknik *unipolar* SPWM. Dalam teknik ini THD tegangan yang dihasilkan lebih rendah bila dibandingkan menggunakan teknik *bipolar* SPWM [5-6]. Dalam penelitian ini pola *unipolar* SPWM dibangkitkan menggunakan perangkat lunak DsPICworks dengan frekuensi pensaklaran 5kHz.

METODE

Arsitektur Inverter Satu Fasa

Dalam penelitian ini menggunakan *full bridge inverter* sebagai saklar daya dan mikrokontroler dsPIC30F4011 sebagai pengendali dan pembangkit SPWM. Arsitektur inverter satu fasa dapat dilihat pada gambar 1.

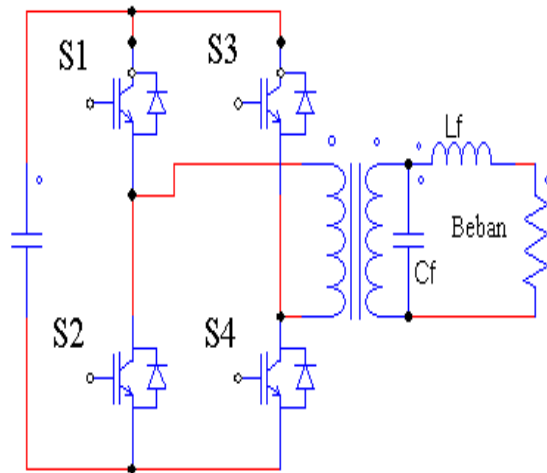


Gambar 1 Diagram blok pengendali mikrokontroler dsPIC30F4011

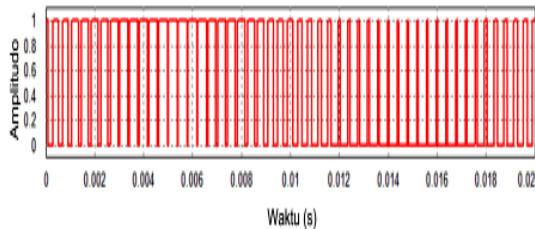
Topologi Pensaklaran

H bridge bipolar atau yang sering dikenal dengan istilah *full bridge inverter* merupakan teknik pensaklaran yang mempunyai efisiensi yang sangat tinggi bila di bandingkan dengan teknik pensaklaran yang lain, seperti *half bridge*, *push pull*, *forward*, dan *flyback*. Dalam pensaklaran *full bridge inverter* terdiri dari dua pasang saklar yang bekerja bergantian. Pasangan saklar S1, S4 dan S2, S3 bekerja secara bersama-sama. Pensaklaran *H bridge inverter* ditunjukkan pada gambar 2. Selain itu, 50 Hz merupakan frekuensi pensaklaran yang digunakan dalam inverter satu fasa ini, sehingga dalam 20 ms terdapat 50 pulsa pensaklaran seperti yang

ditunjukkan dalam gambar 3[7]. Untuk menaikkan tegangan listrik menjadi 220 volt ac digunakan transformator penaik tegangan, sedangkan kapasitor dan induktor dipakai untuk memfilter tegangan keluaran dari inverter.



Gambar 2. H bridge inverter.

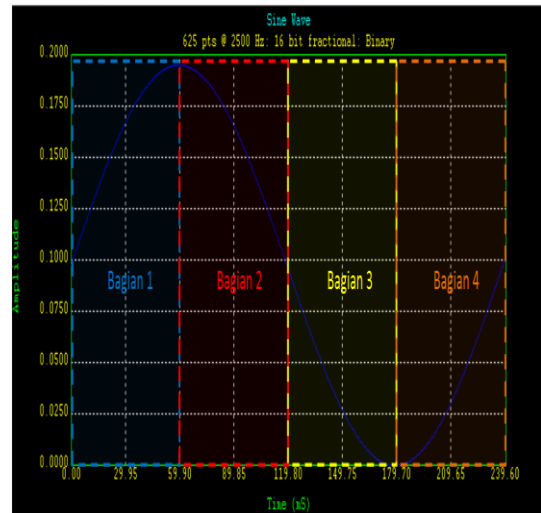


Gambar 3. Pulsa pensaklaran dalam satu periode.

Direct Digital Synthesis

Dalam membangkitkan sinyal SPWM dibutuhkan sinyal pembawa dan sinyal pemodulasi. Sinyal pembawa berupa sinyal gelombang segitiga sedangkan sinyal pemodulasi berupa gelombang sinusoida. Dalam teknik *direct digital synthesis* atau biasa dikenal dengan teknik *look-up table* gelombang sinusoida dihasilkan dari *sine look-up table* yang berisi data-data nilai amplitudo gelombang sinusoida dalam satu siklus. Nilai-nilai amplitudo ini digunakan sebagai *duty cycle* PWM. Perubahan pola sinusoida akan mempengaruhi perubahan *duty cycle* PWM.

Dalam penelitian ini *software* dsPICWorks digunakan sebagai pembangkit *sine look-up table*. Frekuensi *switching* yang digunakan sebesar 5000 Hz sedangkan 1 Hz merupakan resolusi frekuensinya. Pola sinusoida merupakan pola yang periodik, sehingga pola sinusoida dapat dibentuk dari 4 buah bagian dalam satu siklus seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 bagian pola sinusoida dalam satu siklus.

Referensi data sinusoida dalam satu siklus pada teknik *look-up table* dalam penelitian ini menggunakan seperempat dari data diskrit sinusoida sehingga menghemat data pada *memory* mikrokontroler.

Mikrokontroler

Mikrokontroler dsPIC30f4011 digunakan dalam penelitian ini. Mikrokontroler ini mempunyai 16 *mode output*. *Mode* PWM *time based* dipilih dalam setting *output* PWM. Mode ini didalamnya terdapat *mode up/down counting* per *periode* yang dapat digunakan sebagai sistem pewaktuan PWM sebagai pembangkit gelombang segitiga.

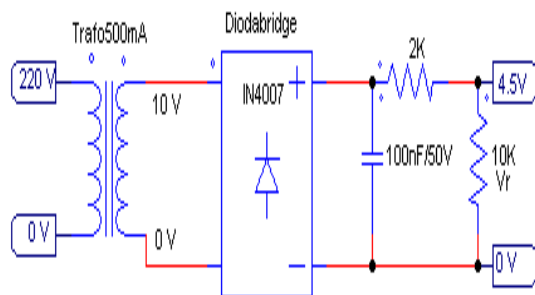
Dalam teknik pembangkit SPWM nilai *duty cycle* selalu mengalami *update* seiring perubahan pada pola sinusoida yang sudah tersimpan dalam *sine look-up table*. Dengan mengaktifkan *interrupt, update* nilai *duty cycle* dapat dilakukan pada mikrokontroler, sedangkan besaran nilai PTPER dapat dihitung menggunakan persamaan 1.0.

$$PTPER = \frac{F_{CY}}{F_{PWM} (PTMR_{prescaler}) - 2} - 1 \quad (1.0)$$

Sinyal sisi atas pensaklaran daya berkebalikan dengan sinyal sisi bawah merupakan karakter dari topologi *full bridge inverter*. Apabila sinyal sisi atas mati maka sinyal sisi bawah harus hidup dan sebaliknya. Fitur komplemen merupakan fitur *dspic30f4011* yang mempermudah pengguna untuk menghasilkan sinyal yang saling berkebalikan. Fitur ini dapat diaktifkan dengan cara menset *PWMCON1BITS.PMODX* dengan nilai nol. Untuk setiap *PDCX* terdapat 2 buah *pin* PWM. Pada penelitian ini *PDC1* digunakan untuk saklar *S1* (*PWM1H*) dan *S2* (*PWM1L*) sedangkan untuk *PDC2* digunakan untuk saklar *S3* (*PWM2H*) dan *S4* (*PWM2L*).

Rangkaian Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan ini di gunakan untuk memonitor tegangan keluaran yang dihasilkan oleh inverter satu fasa. Selain itu sensor tegangan ini digunakan sebagai *feedback* pengaturan tegangan keluaran seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian sensor tegangan

Pengaturan tegangan keluaran pada mode manual dilakukan dengan mengubah nilai indeks modulasi secara manual. Dalam penelitian ini indeks modulasi berada pada kisaran 0-1 dengan resolusi indeks modulasi sebesar 0,01. Pada pengujian pengaturan tegangan mode manual, indeks modulasi dirubah dari nilai 0,00 sampai 1.

Penalaan Kontroler PI

Dalam pemrograman menggunakan algoritma PI dibutuhkan parameter untuk *Kp* dan *Ki*. Respon waktu Ziegler Nichols merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan *tunning* PI. Metode ini merupakan metode yang paling mudah dalam menghasilkan nilai konstanta yang terbaik. Metode respon waktu kalang terbuka Ziegler Nichols di gunakan dalam penelitian ini. Nilai yang dihasilkan dari metode ini digunakan untuk menentukan konstanta *Kp* dan *Ki* pada kalang tertutup inverter satu fasa. Parameter-parameter *tunning* respon waktu kalang terbuka diperlihatkan pada tabel 1.

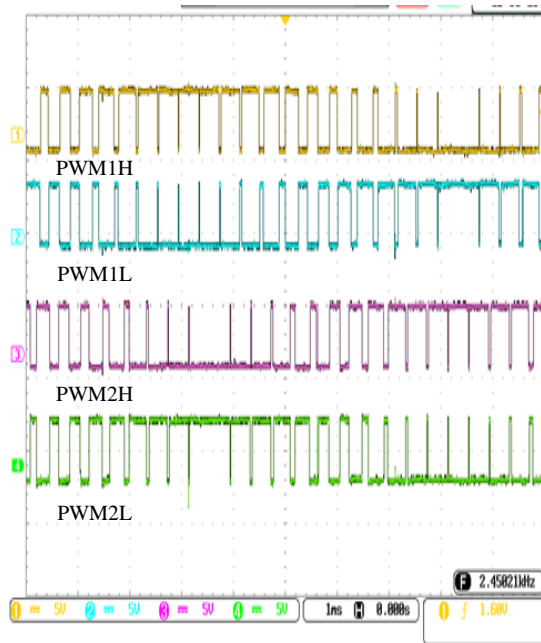
Tabel 1. Parameter *tunning* respon waktu kalang terbuka Ziegler Nichols

Kontroler	P	PI	PID
<i>Kp</i>	T/KL	0.9T/KL	1.2T/KL
<i>Ti</i>	0	3.3T	2L
<i>Td</i>	0	0	0.5L

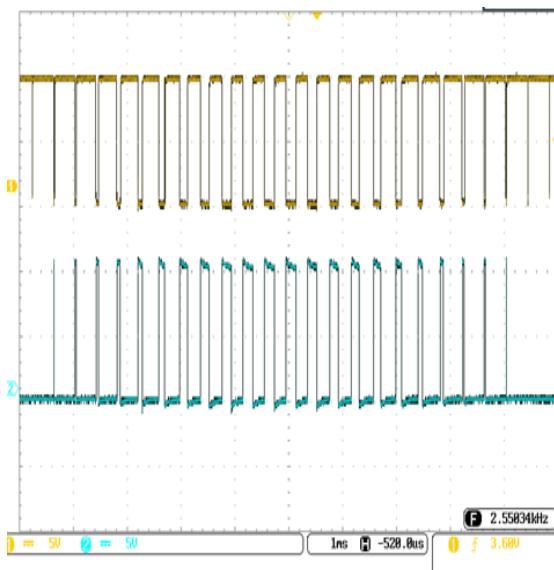
HASIL DAN PEMBAHASAN

Form Tegangan out PWM Mikrokontroller

Dalam sinyal keluaran SPWM ini, metode *look-up table* mensintesis pola sinusoida. Sinyal *S1*, *S2*, *S3* dan *S4* merupakan sinyal keluaran yang disintesis. Dalam sinyal keluaran SPWM ini sinyal *S1* berkomplemen dengan sinyal *S2* sedangkan sinyal *S3* berkomplemen dengan sinyal *S4* yang mempunyai perbedaan sudut sebesar 180 derajat. Bentuk sinyal gelombang keluaran SPWM dengan frekuensi 50 Hz dan indeks modulasi 1 dapat ditunjukkan pada gambar 6, sedangkan Gambar 7 memperlihatkan pasangan gelombang SPWM sisi atas dan sisi bawah.



Gambar 6. SPWM keluaran mikrokontroller dengan frekuensi 50 Hz dengan indeks modulasi 1.



Gambar 7. Pasangan SPWM sisi atas (biru) dan sisi bawah (kuning)

Kontrol Tegangan Keluaran

Pada pengujian pengaturan tegangan mode manual, indeks modulasi dirubah dari nilai 0,00 sampai 1. Kemudian tegangan pada *output* transformator setelah *lowpass filter* diukur menggunakan alat ukur multimeter. Pada kondisi ini transformator tidak dikenakan beban. Tabel 2 memperlihatkan nilai tegangan input sensor 10 volt ac meghasilkan tegangan keluaran sebesar 0,03 volt dc, sedangkan indeks modulasi dengan nilai 1 akan menghasilkan tegangan keluaran transformator

setelah *lowpass filter* sebesar 274.4 volt ac. Tabel 2 memperlihatkan tegangan keluaran dan tegangan sensor *output* dari inverter satu fasa.

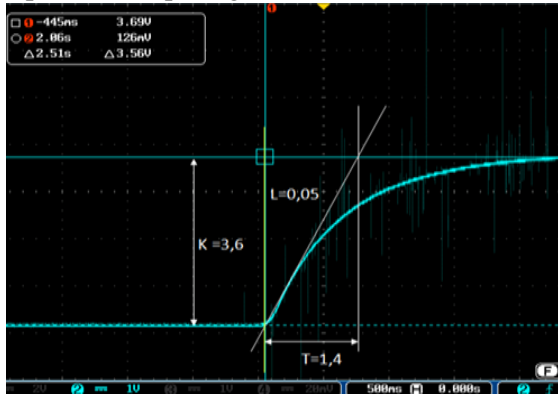
Tabel 2. Tegangan *output* Inverter

No	Tegangan ac input sensor (V)	Tegangan dc sensor output (V)
1	0	0
2	10	0.03
3	20	0.06
4	30	0.12
5	40	0.24
6	50	0.42
7	60	0.61
8	70	0.77
9	80	0.96
10	90	1.15
11	100	1.34
12	110	1.53
13	120	1.67
14	130	1.84
15	140	2.03
16	150	2.21
17	160	2.35
18	170	2.55
19	180	2.71
20	190	2.89
21	200	3.08
22	210	3.24
23	220	3.42
24	230	3.58
25	240	3.69
26	250	3.96
27	260	4.14
28	270	4.32
29	274	4.40

Pengendali PI

Dalam penelitian ini untuk menentukan *tunning* parameter PI menggunakan metode respon waktu Ziegler Nichols. Penentuan nilai parameter pengendali PI dalam kalang tertutup diawali dengan

menguji respon waktu kalang terbuka pada *inverter* satu fasa. Dalam pengujian ini lampu pijar dengan daya 300 watt digunakan sebagai beban padainvertersatu fasa. Adapun hasil pengujian metode respon waktu kalang terbuka diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 8. Pengukuran respon waktu kalang terbuka pada beban 300W.

Berdasarkan hasil gambar respon waktu kalang terbuka diatas dapat di jabarkan sebagai berikut:

$L = 0,05s$, $T = 1,4s$, dan $K = 3,6$.

Setelah di masukan ke persamaan berikut, menjadi :

$$G(s) = \frac{Ke^{-sL}}{1 + Ts} \quad (1.1)$$

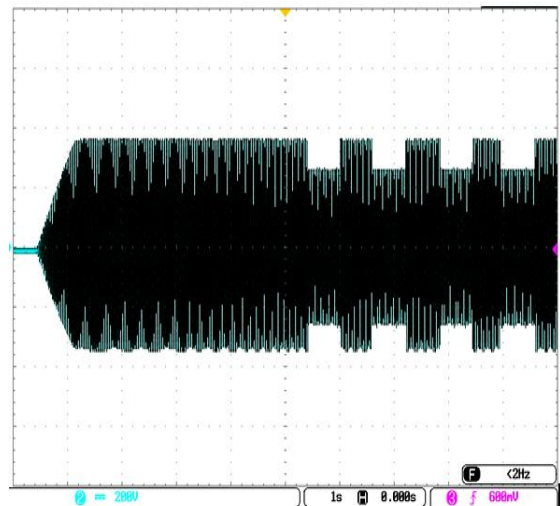
$$G(s) = \frac{3,6e^{-0,05s}}{1 + 1,4s}$$

Berdasarkan parameter *tunning* metode respon waktu Ziegler Nichols kalang terbuka seperti pada tabel 1 didapat nilai *tunning* untuk PI adalah :

$$Kp = \left(\frac{0,9 * 1,4}{3,6 * 0,05} \right) = \left(\frac{1,26}{0,18} \right) = 7$$

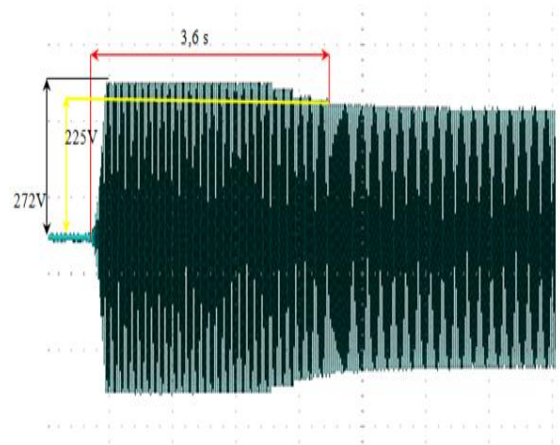
$$Ki = (3,3 * 1,4) = 4,62$$

Langkah selanjutnya dari hasil *tunning* nilai tersebut dimasukan ke algoritma pengendali PI kalang tertutup. Setelah dilakukan pengujian, respon waktu pengendali PI kalang tertutup dengan nilai *tunning* $Kp=7$ dan $Ki=4,62$ didapatkan hasil sistem mengalami osilasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Respon waktu kalang tertutup kontroller PI dengan $Kp=7$ dan $Ki =4,62$.

Untuk menghasilkan respon waktu kalang tertutup pengendali PI yang baik dilakukan percobaan secara *implisit*. Percobaan ini dilakukan berulang-ulang sampai di dapatkan hasil kinerja yang terbaik. Nilai Kp dan Ki yang terbaik berada pada kisaran nilai $Kp=0,00125$ dan $Ki=0,004$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Untuk menghasilkan tegangan sebesar 225 volt ac pada saat dihidupkan pertama kali, waktu yang dibutuhkan sebesar 3,6 detik sedangkan respon tegangan keluaran inverter satu fasa beresilasi sebesar 47 volt atau sebesar 20,9%.



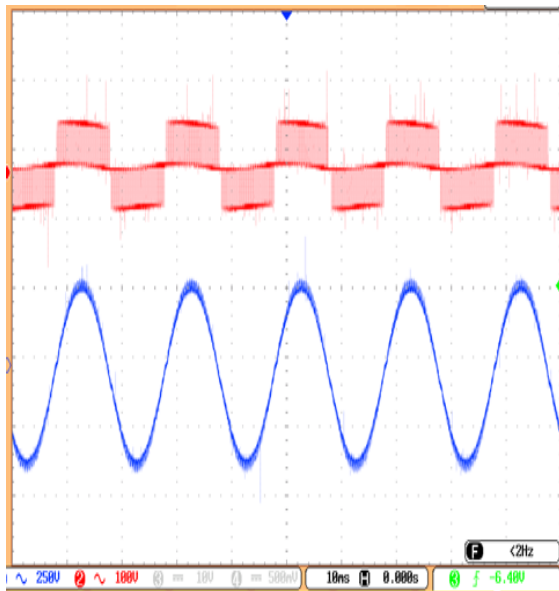
Gambar 10. Respon waktu kalang tertutup pengendali PI dengan $Kp=0,00125$ dan $Ki=0,004$.

Bentuk Gelombang Tegangan Keluaran

Bentuk sinyal gelombang masukan dan keluaran pada transformator penaik tegangan merupakan bagian yang diamati pada pengujian ini. Sinyal keluaran dari *full brigde*

inverter merupakan sinyal masukan pada transformator penaik tegangan.

Bentuk gelombang tegangan tanpa beban ditunjukkan pada gambar 11. Berdasarkan gambar tersebut terdapat dua buah sinyal yaitu sisi atas adalah bentuk gelombang tegangan masukan transformator penaik tegangan sedangkan pada sisi bawah merupakan bentuk gelombang tegangan keluaran transformator setelah *lowpass filter*. Berdasarkan pengamatan pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa bentuk gelombang tegangan masukan masih berbentuk gelombang kotak sedangkan bentuk gelombang tegangan keluaran transformator penaik tegangan setelah *lowpass filter* berbentuk gelombang sinusoida. Bentuk gelombang keluaran transformator setelah *lowpass filter* akan semakin menyerupai pola sinusoida apabila beban *resitif* yang diberikan pada transformator semakin besar.



Gambar 11. Bentuk gelombang tegangan sisi masukan transformator (merah) dan sisi keluaran transformator setelah *lowpass filter* (biru).

KESIMPULAN

Teknik DDS cukup sederhana digunakan sebagai pembangkit sinyal SPWM pada inverter satu fasa. Bentuk tegangan keluaran inverter satu fasa berupa gelombang sinusoida dengan tegangan sebesar 225 volt ac. Untuk mencapai kondisi stabil pada saat dihidupkan pertama kali, waktu yang dibutuhkan sebesar 3,6 detik dengan nilai $k_p=0,00125$ dan $k_i=0,004$ pada respon waktu

kalang tertutup. Sedangkan respon tegangan keluaran inverter satu fasa beresilasi sebesar 47 volt atau sebesar 20,9%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wijaya F. D and Firmansyah Eka. "Sistem kendali daya aktif untuk inverter satu fase yang terintegrasi dengan jaringan distribusi 220 Vrms", Conference on Information Technology and Electrical Engineering, (2012): 96-100.
- [2] Majhi Bijopakash. "Analysis of Single-phase SPWM Inverter", Departement of Electrical Engineering National Institute of Technology Rourkela, 2014.
- [3] S.Öztürkand I.Çadirci. "DSPIC Microcontroller Based Implementation of a Flyback PV Microinverter Using Direct Digital Synthesis", Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). (2013): 3426-2433.
- [4] Variath, R. C., Andersen, M. A. E, Nielsen, O. N., & Hyldgard. "A review of module inverter topologies suitable for photovoltaic systems", IPEC Conference Proceedings, (2010): 310-316.
- [5] Liu and J. Wang. "Analysis and control of a single phase AC chopper in series connection with an auto-transformer, presented at the ICAC 12 - Proceedings of the 18th International Conference on Automation and Computing: Integration of Design and Engineering, (2012): 49-54.
- [6] M. Islam. S. M and Sharif. G. M. "Microcontroller Based Sinusoidal PWM Inverter for Photovoltaic Application", International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), (2009) : 1-4.
- [7] Sidik, Y., Wijaya F. D and Firmansyah, E. "Sinusoidal pulse width modulation berbasis lookup table untuk inverter satu fase menggunakan 16-bit digital signal controller", JNTETI, (2013): 47-50.