

PERANCANGAN *INVERTER* BERBASIS MIKROKONTROLER DSPIC30F4011 DENGAN *FEEDBACK* ARUS MENGGUNAKAN METODE KONTROL *PROPORTIONAL RESONANT*

Agysta Rama Prasetya ^{*)}, Iwan Setiawan, dan Mochammad Facta

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : agystarama@gmail.com

Abstrak

Inverter merupakan perangkat yang paling umum digunakan sebagai konverter untuk mengubah arus searah ke arus bolak-balik. Contoh aplikasi inverter yang sering dijumpai adalah pada sistem photovoltaic yang tersambung dengan grid dimana kualitas arus keluaran inverter sangat berpengaruh terhadap kualitas daya. Dibandingkan dengan inverter dengan SPWM open loop, inverter dengan kontrol arus memiliki beberapa keunggulan diantaranya respon sistem yang lebih cepat dan memiliki akurasi yang tinggi dalam pengontrolan. Dalam Penelitian ini, dirancang inverter satu fasa tipe Full Bridge dengan metode kontrol proportional resonant menggunakan mikrokontroler 16-bit dsPIC30F4011. Arus keluaran inverter di *feedback* menggunakan sensor arus ACS712-05B. Pengujian dilakukan dengan arus referensi 1-1,25 A serta tegangan masukan 30 V_{DC} dan 50 V_{DC}. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontrol proportional resonant adalah kontroler yang cocok untuk digunakan sebagai pengendalian arus AC pada inverter satu fasa yang dirancang karena arus aktualnya sudah mendekati arus referensinya hingga sekitar 3,5 A. Dari tegangan output yang kecil terjadi karena penyesuaian arus yang melewati beban resistif, drop tegangan, dan pembagi tegangan dari induktor. Pada pengujian nilai harmonisa tegangan maupun arus terendah terdapat pada variasi 30 V_{DC} arus referensi 1 A yaitu sebesar 8%, sedangkan yang tertinggi yaitu 22,5 % pada variasi 50 V_{DC} arus referensi 2,5 A.

Kata kunci : *Inverter, Kontrol Arus, Proportional Resonant, dsPIC30F4011*

Abstract

Inverter is the most commonly used device as a converter to convert direct current to alternating current. Application of inverter is often found in grid connected photovoltaic systems where power quality depends on output current quality. If it is compared to the open loop SPWM inverters, the current-controlled inverters have several advantages such as quick system response and high accuracy. In this Research, I designed single phase full bridge inverter with propotional resonant control method is designed by using 16-bit microcontroller dsPIC30F4011. The magnitude of the inverter output current is sensed by the ACS712-05B current sensor. The experimental test is carried out with a current reference range of 1 – 3,5 A and variation of DC 30 V and 50 V. The test result that the propotional resonant is suitable for controlling AC current because actual current is approaching the current reference around 3,5 A. However, something still need to be improve in next research which is the current ripples still occur because the value of the inductor filter is less appropriate. A small output voltage occur because current flowing throught the resistive load, the voltage drops, and their voltage divider from inductor. In harmonics testing on single phase full bridge inverter using 16-bit microcontroller dsPIC30F4011 show that the lowest voltage and current harmonics at variation 30 V_{DC} current reference 1 A is 8%, while the highest is 22.5% at variation 50 V_{DC} current reference of 2.5 A.

Keywords : *Inverter, Current Control, Proportional Resonant, dsPIC30F4011*

1. Pendahuluan

Penggunaan sumber daya terbarukan pada pembangkit listrik menjadi semakin penting. Hal ini dikarenakan peningkatan energi listrik dari hari ke hari semakin tinggi dan ketersediaan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utama pada pembangkit listrik konvensional semakin terbatas [1]. Salah satu penggunaan energi baru terbarukan

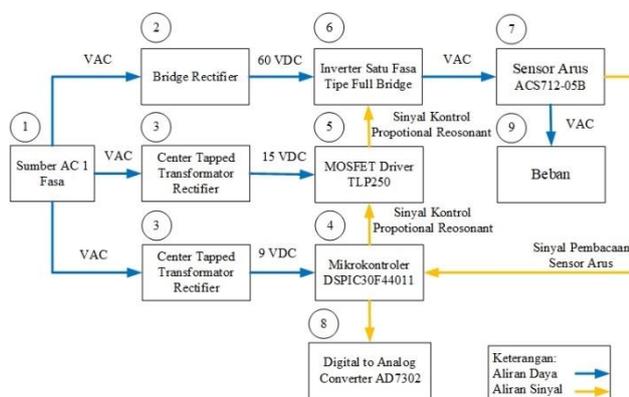
sebagai pembangkit listrik adalah teknologi *photovoltaic* (PV). Teknologi PV semakin berkembang karena adanya dukungan dari pemerintah dan beberapa perusahaan untuk menyambungkan PV dengan *grid* [2]. Inverter merupakan perangkat utama yang digunakan untuk mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC. *Inverter* sendiri dibagi menjadi 3 jenis yaitu jembatan penuh, setengah jembatan, dorong tarik (*Push pull/centre Tapped load*)[3]. *Inverter*

jembatan penuh memiliki keuntungan, yaitu dapat diaplikasikan dengan daya yang besar, namun memiliki kerugian yaitu pada proses switchingnya, karena memiliki 4 saklar semikonduktor yang dioperasikan secara bergantian tanpa harus hubung singkat[4].

Pada penelitian ini telah dirancang sebuah inverter satu fasa dengan menggunakan sistem kendali mikrokontroler dsPIC30F4011. Pembangkitan sinyal SPWM dengan menggunakan dsPIC30F4011 ini lebih mudah dan ringkas karena mikrokontroler ini sudah langsung memiliki keluaran 6 output PWM, dan pembangkitan sinyalnya dilakukan melalui senarai program[5]. Selain itu dsPIC30F4011 memiliki kemampuan *Digital Signal Processing* [6] yang mampu memproses data secara cepat dan mempunyai lebar data 16 bit [7]. *Inverter* satu fasa yang dirancang ini jenis pemicuan SPWM berbasis mikrokontroler 16-bit dsPIC30f4011 dengan metode *Proportional Resonant*. Metode kontrol *Proportional Resonant* ini memberikan respon sistem cepat dan dapat mengikuti sinyal referensi dengan baik. Pada *inverter* yang telah dibuat memiliki performa handal dengan efisiensi tinggi dan arus keluaran *inverter* dapat menyesuaikan referensi[8].

2. Metode

Gambar 1. merupakan blok diagram perancangan perangkat keras *inverter* satu fasa dengan kontroler arus *Proportional Resonant*. Perancangan ini terdiri beberapa blok utama yaitu blok suplai AC 1 fasa, rangkaian daya, rangkaian kontrol, sensor arus ACS712-05B, *Digital to Analog Converter* AD7302, dan blok beban. Pada rangkaian kontrol terdapat rangkaian mikrokontroler DSPIC30F4011 dan rangkaian *driver* MOSFET TLP250. Pada rangkaian daya terdapat *full wave bridge rectifier* sebagai sumber daya DC masukan *inverter* dan *inverter* satu fasa tipe *Full Bridge*.



Gambar 1. Blok Diagram Perangkat Keras

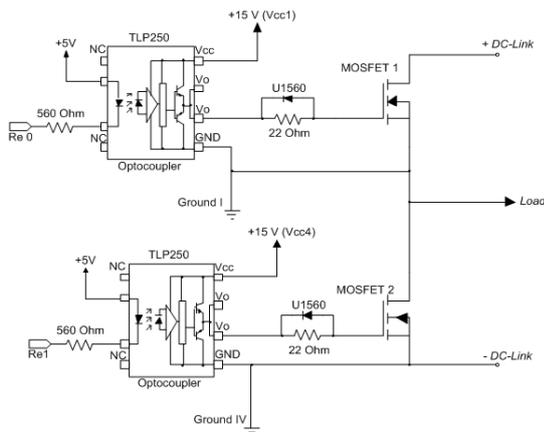
Spesifikasi *inverter* satu fasa tipe *full bridge* berdasarkan Gambar 1. yang dirancang pada Penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Sumber tegangan AC 1 fasa digunakan untuk mensuplai rangkaian daya dan rangkaian kontrol.
2. Suplai tegangan DC untuk rangkaian daya *inverter* diperoleh dari hasil penyearahan tegangan AC menggunakan *bridge rectifier*.
3. Suplai 15 V DC untuk rangkaian *driver* MOSFET dan mikrokontroler DSPIC30F4011 diperoleh dari hasil penyearahan tegangan AC keluaran trafo menggunakan *center-tapped full wave rectifier*.
4. Mikrokontroler 16-Bit DSPIC30F4011 digunakan untuk menghasilkan sinyal kontrol *Proportional Resonant* berdasarkan arus aktual yang terukur oleh sensor dan arus referensi yang diberikan. Arus referensi dihasilkan melalui pembacaan potensiometer melalui fasilitas ADC.
5. TLP250 digunakan sebagai MOSFET *driver* dengan suplai DC yang memiliki *ground* berbeda-beda pada sisi *high inverter* satu fasa.
6. Jenis *inverter* yang dirancang adalah *inverter* satu fasa tipe *full bridge*, yang terdiri dari empat buah MOSFET tipe IRF460.
7. Sensor arus ACS712-05B digunakan untuk mengukur arus keluaran *inverter* dan mengirim informasi berupa tegangan kepada mikrokontroler DSPIC30F4011 melalui fasilitas ADC.
8. *Digital-to-Analog Converter* AD7302 digunakan untuk menampilkan tegangan keluaran yang merepresentasikan arus referensi dan arus aktual yang diukur oleh sensor pada osiloskop.
9. Blok beban terdiri dari beban yang terhubung dengan keluaran *inverter* satu fasa. Beban yang digunakan dalam Penelitian ini adalah berupa resistor.

2.1. MOSFET Driver TLP250

Rangkaian MOSFET DRIVER TLP 250 digunakan untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal kontrol *proportional resonant* dengan level tegangan 5 Volt yang dibangkitkan dsPIC30f4011 menjadi level tegangan yang lebih tinggi dengan sistem *ground* terpisah (level tegangan 15 V) dan cukup untuk memicu MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) sebagai driver. [17].

MOSFET sisi atas (*high-side*) terhubung dengan optocoupler yang memiliki suplai DC terpisah dengan fasa lain dan MOSFET Driver sisi *low*, sedangkan MOSFET pada sisi bawah (*low-side*) terhubung dengan rangkaian optocoupler yang memiliki titik referensi *ground* yang sama dengan MOSFET Driver sisi *low* pada fasa yang lain [17].



Gambar 2. Rangkaian MOSFET Driver TLP250

2.2. Sensor Arus ACS712-05B

Sensor arus ACS712-05B digunakan sebagai perangkat pengukuran dan pembacaan nilai arus aktual yang melalui beban dalam Penelitian ini. Sensor ini bekerja dengan prinsip *hall effect*. Arus yang mengalir melewati sensor akan dibaca dan dikonversikan menjadi nilai tegangan yang proporsional, kemudian sinyal berupa tegangan tersebut akan dibaca oleh modul ADC pada mikrokontroler DSPIC30F4011.

Tegangan keluaran sensor akan bernilai sekitar 2,5 V saat tidak ada arus yang mengalir melewati sensor. Berdasarkan *datasheet*, sensitivitas sensor arus ACS712-05B ini adalah sebesar 185 mV/A [6], namun jenis sensor yang digunakan sudah dilengkapi IC *op-amp* atau penguat sinyal TLC2272ACD yang dapat digunakan untuk mengatur nilai *offset* dan *gain* melalui dua potensiometer yang dihubungkan pada IC *op-amp* tersebut. Potensiometer *gain* diatur hingga nilai sensitivitas sensor berubah menjadi 0,5 V/A, sehingga nilai tegangan keluaran maksimal dari sensor saat arus yang terbaca sebesar 5 A sesuai dengan Persamaan 1 berikut.

$$\begin{aligned} V_{out} &= 2,5 + 0,5 \cdot i \\ V_{out} &= 2,5 + 0,5 \cdot 5 \\ V_{out} &= 5 \text{ V} \end{aligned} \quad (1)$$

Tegangan keluaran sensor diatur menjadi maksimal 5 V untuk memudahkan pembacaan oleh modul *analog-to-digital converter* yang memiliki tegangan referensi sebesar 5 V.



Gambar 3. Sensor Arus ACS712-05B

2.3. Inverter Satu Fasa dengan Kontrol Arus Proportional Resonant

Kontrol *Proportional Resonant* adalah salah satu sistem kontrol loop tertutup yang mampu untuk memperbaiki respon sistem. Seperti diketahui *output* frekuensi dari *inverter* yang dikehendaki adalah 50 Hz. Tujuan dari kontroler ini adalah untuk mengontrol variabel sinusoidal yang memiliki frekuensi resonansi di 50 Hz dan di saat yang sama menolak frekuensi yang lain [2]. Berikut adalah transformasi *Laplace* dari kontroler PR secara ideal [1]:

$$G_{PR}(s) = K_p + \frac{2K_r s}{s^2 + \omega_1^2} \quad (2)$$

Di mana K_p adalah *gain* proporsional, ω_1 adalah frekuensi resonan, dan K_r adalah *gain* resonan. Kontroler PR memberikan *gain* tak terhingga pada frekuensi tertentu (frekuensi resonan) dan nol pergeseran fasa. Namun, kontroler ini tidak mampu merealisasikan rangkain sirkuit fisik tanpa rugi, dan bentuk kontroler yang diperbaiki adalah alternatif praktisnya [1].

Untuk mengumpukan balik nilai keluaran arus dari *inverter* dengan mengontrol variabel sinusoidal yang memiliki frekuensi resonansi di 50 Hz maka digunakanlah sinyal kontrol *proportional resonant*. Nilai *error* $e(t)$ diperoleh dari hasil pengurangan nilai arus aktual yang diukur oleh sensor arus (y) dan nilai referensi arus yang diberikan lewat potensiometer (u). Setelah mendapatkan nilai $e(t)$, kontroler akan menghitung nilai *error* dengan nilai penguatan untuk menghasilkan sinyal kontrol.

Berikut adalah persamaan kontroler *proportional resonant* dalam bentuk transformasi *Laplace* yang ditunjukkan pada Persamaan 3 [1]:

$$G_{PR}(s) = K_p + \frac{2K_r \omega_{PRC} s}{s^2 + 2\omega_{PRC} s + \omega_1^2} \quad (3)$$

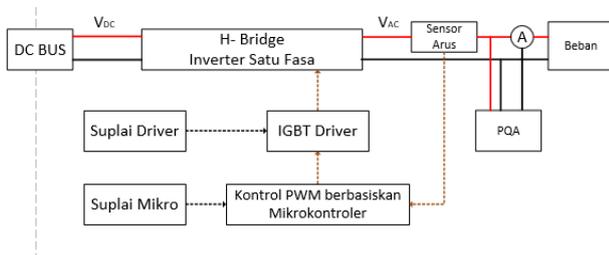
Tiga parameter yang dibutuhkan untuk kontroler PR adalah sebagai berikut[15]:

- ω_{PRC} untuk menyesuaikan *bandwidth* di sekitar frekuensi resonan.
- K_p untuk mendapatkan respon *transient* yang cepat dan kestabilan yang bagus.
- K_r untuk menghilangkan *steady-state error* fasa dan magnitudo.
- ω_1 adalah frekuensi resonan.

2.4. Total Harmonic Distortion Pada Inverter Satu Fasa Berbasis Mikrokontroler dsPIC30F4011

Pengujian THD (*Total Harmonic Distortion*) dilakukan untuk mengetahui nilai harmonisa pada rangkaian *inverter full-bridge* berbasis mikrokontroler dsPIC30F4011 terhadap nilai THD pada gelombang tegangan dan arus keluarannya. Nilai THD tegangan dan arus ini didapatkan dari Power Quality Analyzer dengan jumlah orde sebesar 25. Gambar 4 merupakan rangkaian pengujian THD pada

rangkaian *inverter full-bridge* berbasis mikrokontroler dsPIC30F4011.



Gambar 4. Skema Rangkaian Pengujian THD pada Keluaran Inverter

Total Harmonic Distortion (THD) adalah perbandingan antara nilai RMS dari seluruh komponen harmonisa terhadap nilai RMS dari fundamental. THD biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase (% THD). Nilai THD ini akan digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal murninya. Untuk gelombang sinusoidal sempurna nilai THD-nya adalah 0%, sedangkan untuk menghitung THD dari arus dan tegangan yang mengalami distorsi adalah dengan menggunakan Persamaan 4 dan 5:

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

Dimana:

V_n = Nilai tegangan harmonisa (V)

V_1 = Nilai tegangan fundamental (V)

n = komponen harmonisa maksimum yang diamati

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana:

I_n = Nilai arus harmonisa (A)

I_1 = Nilai arus fundamental (A)

n = komponen harmonisa maksimum yang diamati.

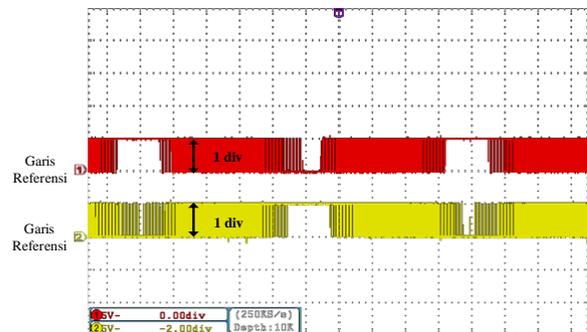
3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Gelombang Keluaran Rangkaian Kontrol

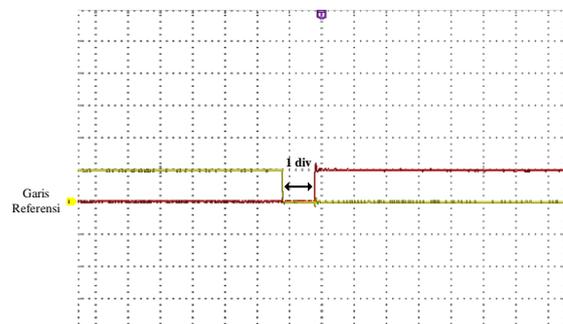
3.1.1. Pengujian Gelombang Keluaran DSPIC30F4011

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa modul PWM pada DSPIC30F4011 dapat membangkitkan sinyal kontrol dalam mode komplementer dengan adanya *dead time* sebesar 1 uS antara pin PWMxL dan PWMxL.

Pengujian dilakukan dengan program PWM *open loop* dengan frekuensi PWM 20 kHz.



Gambar 5. Gelombang Keluaran PWM Open Loop

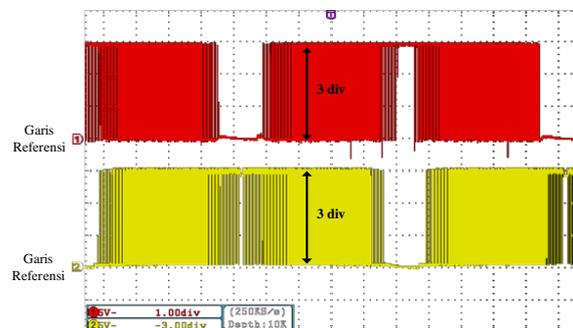


Gambar 6. Dead Time pada Keluaran PWM Open Loop

Hasil pengujian keluaran DSPIC30F4011 pada SPWM *open loop* menunjukkan bahwa sinyal kontrol bekerja dalam mode komplementer serta adanya *dead time* sebesar 1 uS antara PWM sisi *high* dan PWM sisi *low*.

3.1.2. Pengujian Gelombang Keluaran MOSFET Driver TLP250

Pengujian pada rangkaian ini dilakukan untuk mengetahui dan memastikan gelombang tegangan keluaran dari MOSFET *driver* TLP250 telah sesuai dengan perancangan dan dapat digunakan untuk pemucuan MOSFET.



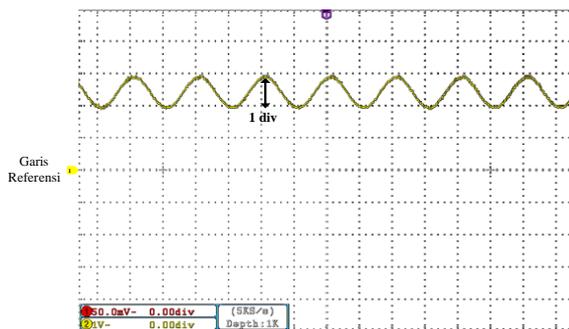
Gambar 7. Gelombang Keluaran Driver MOSFET TLP250

Hasil pengujian gelombang keluaran dari MOSFET *driver* TLP250 telah sesuai dengan perancangan dan dapat digunakan untuk memicu MOSFET.

3.2. Pengujian Sensor Arus ACS712-05B

Pengujian sensor arus ACS712-05B dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran sensor yang telah dikalibrasi sebelumnya saat dialiri arus sebesar 1 A. Arus diberikan dengan cara memasang beban resistif secara seri dengan sumber tegangan AC yang diatur sedemikian rupa hingga nilai arus yang mengalir adalah 1 A.

Nilai arus yang diukur oleh sensor direpresentasikan secara proporsional oleh tegangan keluaran sensor. Sebelumnya pada perancangan sensor arus telah diatur nilai offset tegangan keluaran sensor adalah 2,5 V dan sensitivitas pembacaan arus oleh sensor adalah 0,5 V/A.



Gambar 8. Gelombang Keluaran Sensor Arus ACS712-05B ($I = 1$ A)

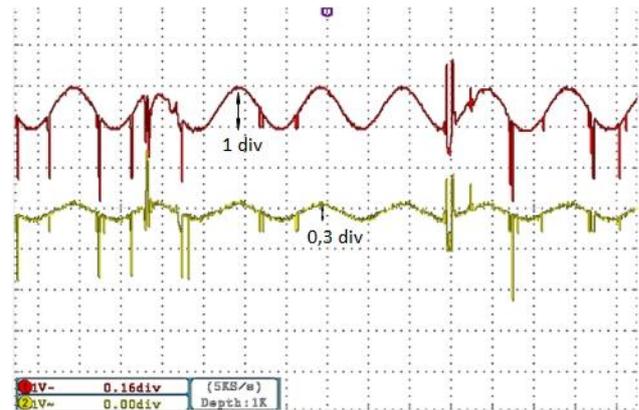
Nilai tegangan puncak ke puncak pada pengujian sensor dalam Gambar 8 memiliki jumlah div 5 dengan skala V/div = 1 V dengan faktor pengali *probe* 1x. Hal ini sudah sesuai dengan perancangan dimana saat arus = 1 A maka diperoleh tegangan keluaran sensor sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{out} &= 2,5 + 0,5 \cdot i \\ V_{out} &= 2,5 + 0,5 \cdot 1 \\ V_{out} &= 3 \text{ V} \end{aligned}$$

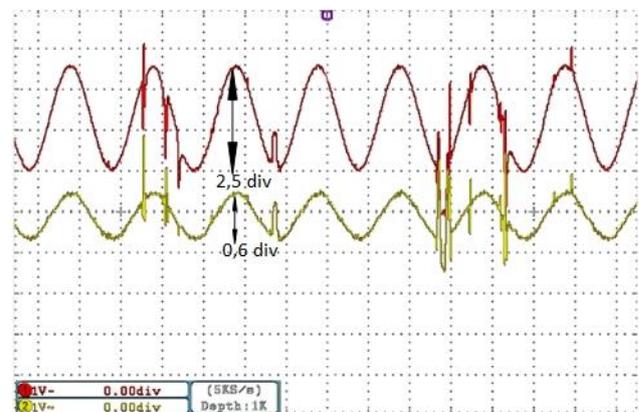
3.3. Pengujian Keluaran *Inverter* Satu Fasa dengan SPWM *Open Loop*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang dan *magnitude* tegangan keluaran *inverter* satu fasa yang dipicu oleh SPWM *open loop*. DC Bus yang diberikan yaitu 50 V_{DC} dengan arus referensi 1 A dan 2,5 A menggunakan beban 12 Ω. Arus keluaran *inverter* tidak diumpun-balikkan pada sistem.

Berdasarkan gambar 9 dan gambar 10 dapat dilihat bahwa hasil pengujian tegangan keluaran *inverter open loop* pada tegangan DC Bus 50 V_{DC}. Pada gambar 9 nilai arus aktualnya sebesar 0,3 A sedangkan pada gambar 10 nilai arus aktualnya sebesar 0,5 A. Nilai yang kecil ini menunjukkan bahwa gelombang arus aktual belum mencapai referensi dengan baik. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya pengendalian kontrol



Gambar 9. Perbandingan Arus Referensi 1 A dengan Arus Aktual Menggunakan Beban 12 Ohm Pada Tegangan Input 50 V_{DC} ($t/div=5ms$).



Gambar 10. Perbandingan Arus Referensi 2,5 A dengan Arus Aktual Menggunakan Beban 12 Ohm Pada Tegangan Input 50 V_{DC} ($t/div=5ms$).

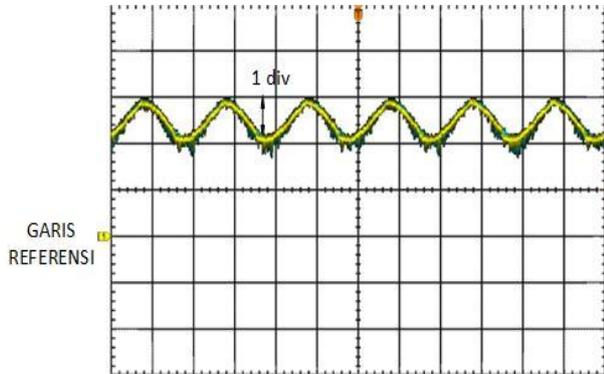
3.4. Pengujian Keluaran *Inverter* Satu Fasa dengan Kontrol Arus *Proportional*

Pengujian bertujuan untuk mengamati bentuk gelombang dan *magnitude* arus keluaran *inverter* satu fasa yang dipicu oleh sinyal kontrol *Proportional*. Arus keluaran diamati melalui tegangan keluaran DAC. Tegangan DAC tersebut merepresentasikan referensi arus dan arus aktual secara proporsional.

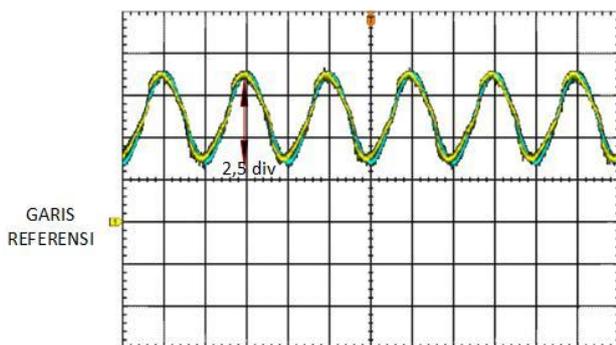
DC Bus yang diberikan adalah sebesar 50 V_{DC} dengan arus referensi sebesar 1 A dan 2,5 A. Arus keluaran *inverter* diumpun-balikkan pada mikrokontroler DSPIC30F4011. Hasil pengujian arus keluaran *inverter* kontroler arus *Proportional* pada beban 12 Ω.

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan hubungan arus keluaran *inverter* (kuning) dan referensi arus yang dibangkitkan (biru). Hasil pengujian arus keluaran *inverter* dengan kontrol *Proportional* pada DC Bus 50 V_{DC}. Pada Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan bahwa arus

keluaran dapat mengikuti referensi yang diberikan dikarenakan nilai *gain* pada kontroler cukup untuk mencapai referensi. *Ripple* arus yang terjadi karena nilai filter induktor yang kurang sesuai.



Gambar 11. Perbandingan Arus Referensi 1 A dengan Arus Aktual Menggunakan Beban 12 Ohm Pada Tegangan Input 50 V_{DC}



Gambar 12. Perbandingan Arus Referensi 2,5 A dengan Arus Aktual Menggunakan Beban 12 Ohm Pada Tegangan Input 50 V_{DC}

3.5. Total Harmonic Distortion (THD) Gelombang Tegangan dan Arus Harmonisa Keluaran Inverter Full-Bridge berbasis mikrokontroller dsPIC30F4011

3.5.1. Pengujian Total Harmonic Distortion (THD)

pada Harmonisa Tegangan dan Arus Keluaran *Inverter* Berbasis Mikrokontroller dsPIC30F4011 Pada Tegangan DC Bus 50 V_{DC}

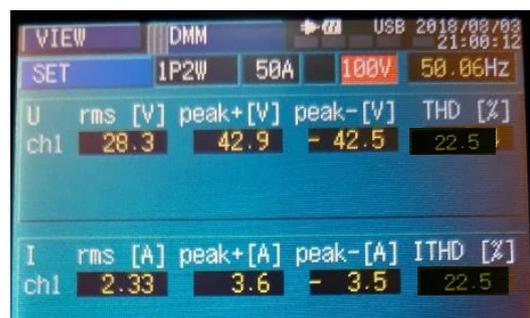
Pengujian *Total Harmonic Distortion* (THD) Pengujian THD (*Total Harmonic Distortion*) dilakukan untuk mengetahui nilai harmonisa pada rangkaian *inverter full-bridge* berbasis mikrokontroller dsPIC30F4011 terhadap nilai THD pada gelombang tegangan dan arus keluarannya. Nilai THD tegangan dan arus ini didapatkan dari Power Quality Analyzer dengan jumlah orde sebesar 25. Pengujian ini dilakukan dengan arus referensi 2,5A.

Berikut adalah tabel dari harmonisa tegangan dan arus keluaran dari *inverter full-bridge* berbasis mikrokontroller dsPIC40F3011 dengan arus referensi 2,5 A

Dari persamaan 4 dan 5 didapatkan hasil perhitungan dari V_{THD} dan I_{THD}. Nilai dari V_{THD} sebesar 22.653% dan I_{THD} sebesar 21.933%. Dari nilai harmonisa tegangan dan arus yang didapat maka dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran. Berikut adalah hasil pengukuran harmonisa tegangan dan arus keluaran *inverter full-bridge* berbasis mikrokontroller dsPIC30F4011.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Keluaran dari *inverter full-bridge* berbasis mikrokontroller dsPIC40F3011 Variasi Tegangan Input 50 V_{DC} dan Arus Referensi 2,5 A dengan Menggunakan Beban 12 Ohm.

V DC Bus (VDC)	I Ref (A)	Orde	V (V)	I (A)
50	2,5	1	50	1.3
50	2,5	2	1.65	0.04
50	2,5	3	10.2	0.26
50	2,5	4	0.55	0.01
50	2,5	5	2.85	0.07
50	2,5	6	0.85	0.02
50	2,5	7	2.35	0.06
50	2,5	8	0.7	0.02
50	2,5	9	1.2	0.03
50	2,5	10	0.5	0.01
50	2,5	11	0.85	0.02
50	2,5	12	0.45	0.01
50	2,5	13	0.65	0.02
50	2,5	14	0.35	0.01
50	2,5	15	0.55	0.01
50	2,5	16	0.4	0.01
50	2,5	17	0.4	0.01
50	2,5	18	0.6	0.01
50	2,5	19	0.7	0.01
50	2,5	20	0.6	0.01
50	2,5	21	0.6	0.01
50	2,5	22	0.5	0
50	2,5	23	0.6	0
50	2,5	24	0.4	0
50	2,5	25	0.5	0



Gambar 13. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Keluaran *inverter* dengan Tegangan Input 30V_{DC} dan Arus Referensi 2,5A Menggunakan Beban 12 Ohm

Dari hasil perhitungan dan pengukuran harmonisa arus maupun tegangan keluaran *inverter full-bridge* berbasis mikrokontroller dsPIC40F3011 dapat dibuat tabel perbedaan antara harmonisa hitung dengan harmonisa arus sebagai berikut

Tabel 2. Hasil Harmonisa Ukur, Hitung, dan Selisih Variasi DC Bus 50 V_{DC} dan Arus Referensi 2,5 A

Harmo- nisa Hitung Tegang -an (%)	Harmo- nisa Ukur Tegang -an (%)	Selisih (%)	Harmo- -nisa Hitung Arus (%)	Harmo- nisa Ukur Arus (%)	Selisih (%)
22.653	22.5	0.153	21.933	22.5	0.567

Berdasarkan standar IEEE 519-1992, nilai maksimal yang diijinkan untuk THD-v maupun THD-i adalah 5%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai ukur THD-v dan THD-i pada DC Bus 30VDC arus referensi 1 A melebihi standar yang ditetapkan IEEE. Hal ini disebabkan tidak adanya filter yang menapis harmonisanya.

4. Kesimpulan

Inverter satu fasa SPWM telah berhasil direalisasikan dan dapat menghasilkan tegangan keluaran AC satu fasa terkontrol, dengan arus referensi yang dapat diatur. DsPIC30F4011 dapat digunakan dengan baik untuk menghasilkan gelombang pemicuan SPWM *unipolar* pada *inverter* satu fasa SPWM. *Ripple* arus yang terjadi karena nilai filter induktor yang kurang sesuai. Tegangan *output* pada beban resistif yang kecil terjadi karena arus yang melewati beban resistif kecil, *drop* tegangan pada keluaran *inverter* dan pembagi tegangan dari inductor karena dirangkai seri. Hasil pengujian dalam Penelitian ini menunjukkan bahwa kontrol *proportional resonant* adalah kontroler yang paling baik untuk digunakan sebagai pengendalian arus AC dibandingkan dengan kontrol *openloop* dan *proportional*.

Referensi

- [1] Zhang. Ningyun, "A Systematic Method for Designing a PR Controller and Active Damping of the LCL Filter for Single-Phase Grid-Connected PV Inverters", *Energies*, vol.7, pp. 3934-3954, 2014.
- [2] Aizam. Shamsul, "Comparison Study in Various Controller Single-Phase Inverters", IEEE SCORED, 2010.
- [3] S. Yuvarajan and H. L. Chiou, "A Novel Sine PWM Scheme Using Waveform Generators," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 41, no. 3, pp. 372-376, 1994.
- [4] S. W. Smith, *Digital signal processing*, 2nd ed. San Diego, California: California Technical Publishing, 1999.
- [5] M. T. Inc., *DSPIC30F4011/12 Data Sheet 16-Bit Digital Signal Controllers*. 2010.
- [6] Daniel W Hart, *Power Electronics*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [7] M. H. Rashid, *POWER ELECTRONICS Academic Press Series in Engineering*, 2001.
- [8] D. A. K. S. Anjana Thakur, "An Overview of Different PWM Techniques to Reduce Total Harmonic Distortion of Output in," *Int. J. Recent Res. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 65-69, 2016.
- [9] M. Tecnology Inc., "dsPIC30F Family Reference Manual," pp. 15-44, 2006.
- [10] Allegro, "Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor", no. 16, pp. 1-16, 2017.
- [11] O. T. Way, "2.7 V to 5.5 V, Parallel Input Dual Voltage Output 8-Bit DAC," pp. 1-8, 1997.
- [12] I. Electronics, "DAC-08 Digital to Analog Converter," pp. 7-8, 2005.
- [13] Intersil, "Mur1540, mur1560, rurp1540, rurp1560.," no. 2778, pp. 1-4, 2000.
- [14] S. J. Al Achmad, I. Setiawan, and T. Andromeda, "Implementasi Kontrol Arus pada Inverter Satu Fasa Menggunakan dsPIC30F4011 Dengan Metode Kontrol Proportional Resonant," Universitas Diponegoro, Semarang, 2018.
- [15] A. Suryandi, "Studi Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik Pada Kampus Politeknik Enjinerig Indorama", Politeknik Enjinerig Indorama, 2017