

RANCANG BANGUN SPWM INVERTER 3 FASA DAYA KECIL METODE SKALAR

Muhamad Rifa'i¹, Eka Mandayatma², Fathoni³

¹Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Malang
e-mail : muh.rifai@polinema.ac.id

(Artikel diterima: Oktober 2019, direvisi: September 2019, diterima untuk terbit: Januari 2020)

Abstrak – Penggunaan motor induksi sebagai penggerak variabel di industri semakin luas dan penting. Motor induksi mulai menggantikan motor DC sebagai penggerak variabel. Kelebihan pada efisiensi, harga, dan perawatan dibandingkan dengan motor DC membuat motor induksi lebih disukai di industri. Kelemahan motor induksi hanya terletak pada pengaturan kecepatan yang relatif lebih sulit dibandingkan dengan motor DC. Inverter satu fasa digunakan untuk mengubah tegangan jenis DC menjadi tegangan AC agar sesuai dengan kebutuhan listrik pada rumah tangga. Inverter dalam penelitian ini dirancang menggunakan penyulutan Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM). SPWM di bangkitkan melalui IC monolithic MC3PHAC. Daya keluaran inverter di monitoring melalui tampilan LCD melalui referensi sensor arus dan sensor tegangan. Dari hasil pengujian inverter SPWM fasa menggunakan beban sebesar 750 Watt, arus yang dihasilkan sebesar 4,8 A dengan tegangan 220 Volt, dan frekuensi 50 Hz. Efisiensi dari pengujian inverter SPWM satu fasa sebesar 83,3% dengan presentase eror sebesar 14%.

Kata kunci: inverter, SPWM.

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk di Indonesia makin meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan jumlah penduduk mempengaruhi meningkatnya kebutuhan energi listrik. Peningkatan kebutuhan energi listrik per tahun tidak di barengi dengan ketersediaan bahan bakar pembangkit energi listrik yang mayoritas berupa fosil (minyak bumi, batu bara dan gas alam). Masalah tersebut memicu adanya energi-energi alternatif yang memanfaatkan sumber energi terbarukan.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu energi alternatif yang cocok di terapkan di negara beriklim panas seperti Indonesia. PLTS menggunakan solar panel sebagai pengubah energi surya menjadi energi listrik. Tegangan dari solar panel berupa tegangan DC. Karena sumber energi beban rumah tangga berupa tegangan AC, maka tegangan *output* perlu diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter satu fasa.

Inverter merupakan konverter yang mengubah tegangan dari DC menjadi bentuk gelombang AC yang amplitudo dan frekuensi dapat diatur. Pada penelitian ini, di desain inverter sebagai konversi tegangan DC menjadi tegangan AC untuk sumber energi beban rumah tangga pada rumah mandiri energi menggunakan solar cell.

II. TINJAUAN PUSTAKA

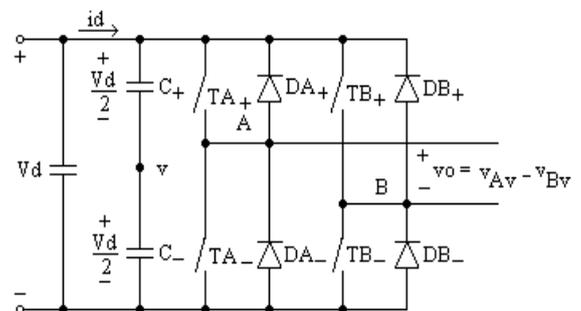
A. Inverter satu fasa

Inverter digunakan untuk mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC. Tegangan *output* dari inverter bisa tertentu dan bisa pula diubah-ubah dengan frekuensi tertentu atau frekuensi yang diubah-ubah. Inverter pada penelitian ini memiliki tegangan output konstan dengan frekuensi konstan.

B. Full Bridge Inverter

Full bridge inverter adalah rangkaian inverter yang terdiri dari 2 *half bridge* inverter. Inverter jenis ini digunakan untuk rating daya besar. Dengan tegangan masukan DC yang

sama, tegangan keluaran maksimum dari inverter *full bridge* adalah dua kali lebih besar dari tegangan keluaran *half bridge* inverter. Gambar 1 merupakan dari rangkaian full bridge inverter.



Gambar 1. Rangkaian Full Bridge Inverter

Tegangan keluaran inverter sesaat dalam deret Fourier dinyatakan sebagai berikut :

$$V_o = \frac{4V_{dc}}{\pi} \sum_{N=1,2,3...} \frac{\sin n\omega t}{n} \quad (1)$$

$$V_o(\omega t) = \frac{4V_{dc}}{\pi} (\sin \omega t + \sin 2\omega t + \dots) \quad (2)$$

Dan untuk $n=1$, maka nilai tegangan rms komponen fundamental sebagai:

$$V_1 = \frac{4V_{dc}}{\pi\sqrt{2}} = 0,9V_{dc} \quad (3)$$

C. Metode switching inverter

Ada banyak teknik *switching* inverter yang digunakan untuk menyulut komponen *switching* pada inverter, antara lain:

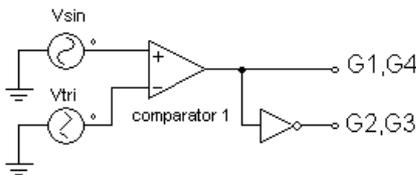
- Single pulse width modulation (PWM)
- Multiple pulse width modulation
- Sinusoidal pulse width modulation
- Modified sinusoidal pulse width modulation
- Phase displacement control

D. Sinusoidal pulse width modulation

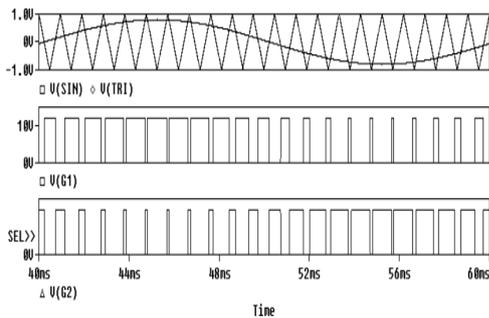
SPWM adalah teknik *switching* yang membandingkan sinyal sinusoidal sebagai sinyal referensi dengan sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa. Frekuensi sinyal referensi, f_r menunjukkan frekuensi *output* inverter (f_o) dan amplitudo puncak (A_r) mengatur indeks modulasi (m) dan menentukan tegangan *output* rms, V_o . Tegangan keluaran rms dapat di kontrol dengan mengontrol modulation index (M), dimana M adalah perbandingan amplitudo sinusoidal dengan amplitudo sinyal segitiga. Sinusoidal Pulse Width Modulation di bedakan menjadi dua, yaitu SPWM bipolar dan unipolar.

E. SPWM Bipolar

Pada gelombang sinusoidal PWM bipolar terdapat perbedaan lebar pulsa pada fase positif dan fase negatif, dan akan periodik sesuai dengan frekuensi dari tegangan referensi. Bentuk gelombang sinusoidal PWM bipolar ini diperoleh dengan meng-komparasi antara gelombang segitiga (*triangle wave*) dengan gelombang sinusoidal murni. Lebar dari pada fase positif dan fase negatif dapat diatur dengan mengontrol besar indeks modulasi. Prinsip dasar SPWM bipolar terdapat pada gambar 2.



Gambar 2. Teknik SPWM bipolar

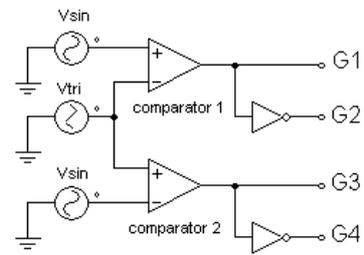


Gambar 3. Sinusoidal pulse width modulation

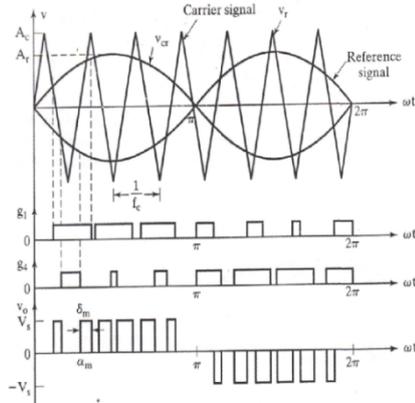
F. SPWM Unipolar

Pembangkitan sinyal menggunakan SPWM jenis unipolar dilakukan dengan membandingkan dua buah sinusoidal dengan sebuah sinyal segitiga. Gelombang sinusoidal yang dibandingkan memiliki perbedaan fasa sebesar 180°. Teknik membandingkan sinyal tersebut dapat diperhatikan pada gambar 4.

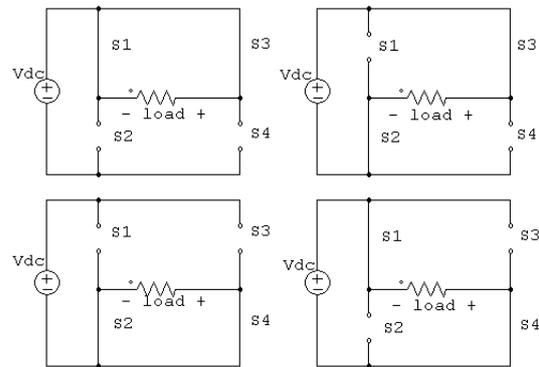
Tegangan *output* yang dihasilkan berada pada fase nol, positif dan negative. Hal ini menjadi keunggulan dari SPWM unipolar terhadap SPWM bipolar, karena rugi-rugi *switching* yang dihasilkan lebih rendah. SPWM unipolar memiliki 4 kombinasi kondisi penyulutan untuk 4 gate MOSFET pada rangkaian inverter satu fasa. Gambar 6 menunjukkan kondisi saklar ketika diberi penyulutan.



Gambar 4. Teknik SPWM unipolar



Gambar 5. Teknik SPWM unipolar



Gambar 6. Mode operation inverter SPWM

Persamaan (4) dapat digunakan untuk mencari tegangan rms *output* :

$$V_{out(1)} = M \cdot V_{dc} \cdot \cos(2\pi f_r t) \quad (4)$$

G. Sensor tegangan

Sensor tegangan digunakan sebagai pembaca sinyal tegangan *output* inverter SPWM satu fasa agar bisa dibaca oleh rangkaian mikrokontroler sebagai referensi untuk tampilan tegangan dan daya pada LCD. Sensor yang digunakan menggunakan LV 25-P.

Penyulutan inverter menggunakan metode SPWM yang dibangkitkan melalui mikrokontroler Atmega 16.

Parameter inverter yang digunakan, sebagai berikut:

$$V_{in} = 340 \text{ Volt DC}$$

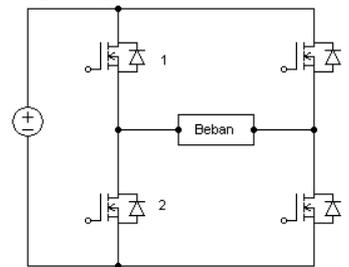
$$V_{out} = 311 \text{ V}_{peak} \approx 220 \text{ V}_{rms}$$

$$\text{Frekuensi} = 50 \text{ Herzt}$$

$$P_{outmax} = 750 \text{ Watt}$$

$$I_{o \max} = 750 / 220 = 3,4 \text{ A}$$

Rangkaian inverter SPWM satu fasa dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Rangkaian full bridge inverter satu fasa

D. Perancangan penyulutan SPWM

Penyulutan untuk gate MOSFET dihasilkan melalui mikrokontroler ATmega 16. Sinyal sinusoida dibangkitkan dengan cara mengaktifkan mode Normal TOP PWM pada timer(0) yang tersedia didalam mikrokontroler. Sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa dibangkitkan dengan mengaktifkan mode Phase Correct PWM pada timer (1).

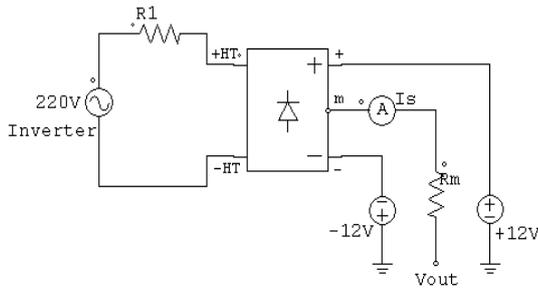
Frekuensi keluaran yang diharapkan dari inverter sebesar 50 Hz. Frekuensi keluaran inverter tergantung pada frekuensi sinusoidal yang di bangkitkan mikrokontroler timer(0). Frekuensi segitiga merupakan frekuensi pencuplikan, didapatkan dari port OCR(1) dengan menggunakan persamaan (5).

$$F_{OCR} = \frac{F_{CPU}}{2.N.255} \quad (5)$$

Perhitungan untuk menentukan besar frekuensi carrier pada mikrokontroler ATmega 16 dengan clock 4Mhz dan prescaler (n)=1, didapat dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{OCR} &= \frac{F_{CPU}}{2.N.255} \\ &= \frac{4.106}{2.1.255} = 7,8 \text{ kHz} \end{aligned}$$

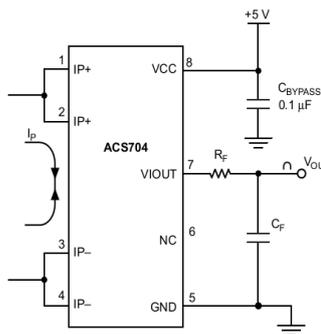
Simulasi inverter satu fasa dengan penyulutan SPWM dan hasil gelombang output ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 7 Rangkaian sensor tegangan LV 25-P

H. Sensor arus

Sensor arus yang digunakan adalah sensor arus jenis IC ACS 712. Sensor arus ini presisi dalam pengukuran arus AC maupun DC. Gambar 8 menggambarkan skematik dari sensor arus AC 712.



Gambar 8. Skematik sensor arus ACS

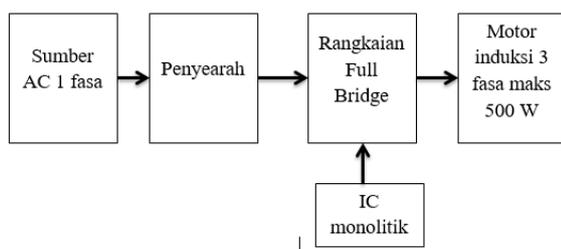
III. METODE

A. Perencanaan system

Perencanaan system secara keseluruhan di jabarkan pada point selanjutnya.

B. Blok diagram

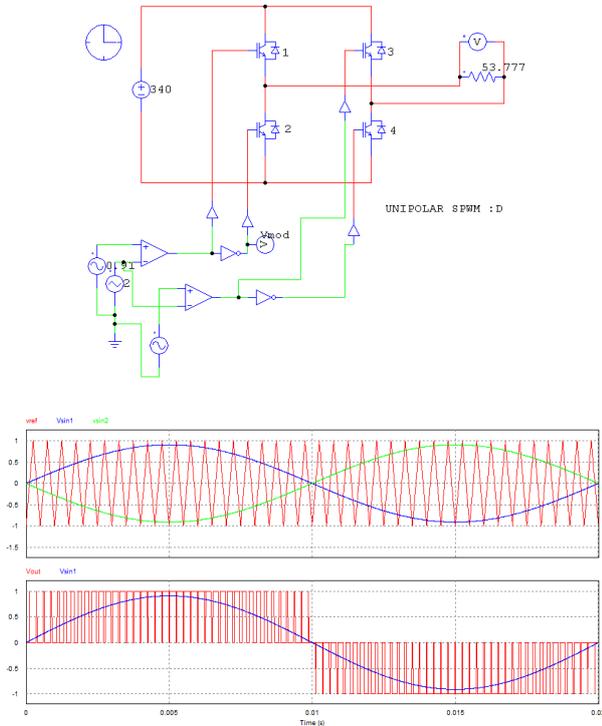
Perancangan penelitian mengacu pada blok diagram sistem.



Gambar 9. Blok diagram sistem

C. Perancangan inverter satu fasa

Inverter membutuhkan empat buah piranti switching (MOSFET) yang bekerja secara berpasangan dan bergantian. Tegangan output dari inverter tergantung pada besar penyulutan pada tiap gate inverter.



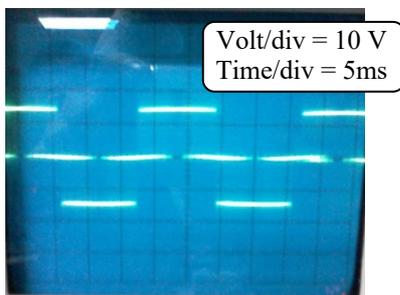
Gambar 11. Simulasi SPWM menggunakan PSIM

E. Pengujian

Pengujian alat diperlukan agar dapat diketahui efisiensi serta error yang terdapat dalam system.

F. Pengujian Inverter SPWM satu fasa

Pengujian gelombang *output* SPWM yang dihasilkan mikrokontroler menggunakan oskilloskop dengan 2 buah probe. Probe CH1 untuk mengamati penyulutan pada Q1 dan Q4. Probe CH2 untuk mengamati penyulutan pada Q3 dan Q2. Dari hasil penyulutan, didapatkan gelombang *output* inverter dengan frekuensi 50 Hz seperti gambar 12.



Gambar 12. Gelombang *output* inverter

Pengujian SPWM inverter satu fasa menggunakan tegangan *input* DC sebesar 318 Volt untuk tegangan *output* 220 Volt. Beban yang diujikan merupakan beban rumah tangga yaitu lampu 250 Watt, exhaust fan 25 Watt dan pompa air 125 Watt.

Tabel 4.1 merupakan hasil pengujian tegangan *output* dari inverter satu fasa menggunakan beban lampu 250 W. Tabel 4.2 menampilkan data pengujian inverter satu fasa menggunakan beban rumah tangga.

Tabel 4.1 Pengujian tegangan keluaran Inverter

Vdc (V)	Iin (A)	Vac (V)	Iout (A)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	η (%)
25	0.095	22	0.013	2.375	0.286	12%
50	0.13	39	0.165	6.5	6.435	99%
75	0.15	56	0.201	11.25	11.256	100%
100	0.19	72	0.23	19	16.56	87%
125	0.21	90	0.27	26.25	24.3	93%
150	0.24	109	0.29	36	31.61	88%
175	0.26	125	0.32	45.5	40	88%
200	0.28	142	0.345	56	48.99	87%
225	0.3	160	0.37	67.5	59.2	88%
250	0.325	180	0.39	81.25	70.2	86%
275	0.34	198	0.41	93.5	81.18	87%
300	0.37	216	0.435	111	93.96	85%
325	0.38	230	0.45	123.5	103.5	84%

Tabel 4.2 pengujian inverter dengan beban variatif

Jenis beban	Vin (V)	Iin (A)	Vo (V)	Io (A)	Cos phi	η (%)
Lampu 900W	315	3,1	220	4,12	0,99	92,7
Motor 370 W	313,7	0,55	220	0,7	0,8	71,4
Pompa 125W	308,5	0,62	220	0,9	0,7	96,6
Pompa 250	309,5	1,25	220	1,8	0,7	71,6
Exhaust fan 25W	308	0,15	220	0,11	0,8	42
Pompa air dan lampu	315	3,1	220	4,8	0,85	86,5

Efisiensi inverter berdasarkan data pada tabel 4.1 sebesar 83,3%. Sedangkan perhitungan presentase kesalahan dalam pengujian dapat di bandingkan dengan perhitungan teori sebagai berikut.

Perbandingan amplitude sinyal sinusoidal dengan sinyal segitiga:

$$M = \frac{Ar}{Ac} \approx 0,95 \quad (6)$$

Tegangan *output* inverter :

$$V_{out(1)} = M \cdot V_{dc} \cdot \cos(2\pi f t) \quad (7)$$

$$V_{o(rms)} = \frac{V_{o(peak)}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Besar presentase error dari pengukuran :

$$(\%) \text{ error} = \frac{V_{teori} - V_{praktek}}{V_{teori}} \times 100\%$$

Tabel 4.3 Persentase error pengujian inverter

Vdc (V)	Vout rms (V)	Vout peak (V)	Vout teori (V)	Error (%)
25	22	31.1	22.5	38
50	39	55.2	45	22,3
75	56	79.2	67.5	1,26
100	72	101.8	90	13
125	90	127.3	112.5	13,1
150	109	154.1	135	12,4
175	125	176.8	157.5	12,2
200	142	200.8	180	11,5
225	160	226.3	202.5	11,7
250	180	254.6	225	13,1
275	198	280.0	247.5	13,1
300	216	305.5	270	13,1
325	230	325.3	292.5	11,2

Error pada pengujian sebesar 14%. Error ini dapat disebabkan karena pengaruh factor daya beban, gelombang hasil penyulutan yang mengandung harmonisa, drop tegangan saat kondisi berbeban dan kesalahan pembacaan alat ukur.

Pada penelitian ini, metode *switching* inverter menggunakan metode SPWM dengan frekuensi gelombang carrier (segitiga) sebesar 7,8KHz dan frekuensi referensi (sinus) sebesar 50 Hz menghasilkan gelombang output berupa gelombang sinusoidal dengan kandungan harmonisa (tidak murni).

Frekuensi segitiga merupakan frekuensi pencacahan gelombang sinusoidal pada proses *switching*. Besar frekuensi carrier harus menyesuaikan dengan kemampuan komponen *switching* dan kemampuan ATmega yang digunakan agar tidak menghasilkan kerugian daya. Frekuensi referensi (sinus) merupakan frekuensi *output* dari inverter satu fasa. Gelombang sinusoidal didesain agar menghasilkan frekuensi sebesar 50Hz,sesuai kebutuhan beban.

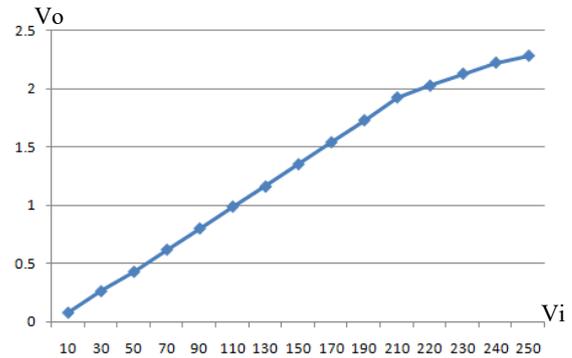
Pengujian inverter SPWM satu fasa dengan beban variatif, memiliki efisiensi rata rata sebesar 77%. Efisiensi dipengaruhi oleh kandungan harmonisa yang ada pada gelombang output inverter dan factor daya beban yang berbeda beda dan jenis beban yang digunakan. Beban motor pompa air dan exhaust fan memiliki efisiensi yang lebih rendah dari beban lampu maupun televisi karena beban tersebut bersifat beban non linier yang memicu munculnya harmonisa. Proses *switching* dan kemampuan *switching* komponen MOSFET juga dapat mempengaruhi kinerja dari inverter satu fasa.

G. Pengujian monitoring daya pada LCD

Daya keluaran dari inverter di monitor melalui layar LCD 2x16. Sensor tegangan dan sensor arus digunakan sebagai referensi ADC mikrokontroler.

H. Pengujian Sensor tegangan LV25-P

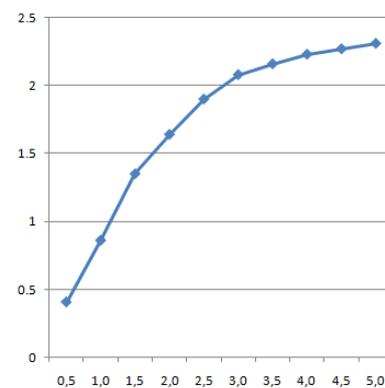
Data hasil pengujian kelinieran sensor tegangan LV25-P.



Gambar 13. Grafik kelinieran sensor tegangan LV25-P

I. Pengujian sensor arus acs 712

Data hasil pengujian kelinieran sensor arus ACS 712.



Gambar 14. Grafik kelinieran sensor arus acs 712

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil pengujian adalah sebagai berikut:

- Inverter SPWM satu fasa mampu mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC) dengan tegangan sebesar 220 Volt dan frekuensi 50 Hz, sesuai dengan kebutuhan beban rumah tangga.
- Gelombang output dari inverter berupa gelombang sinusoidal dengan kandungan harmonisa.
- Pengujian inverter SPWM satu fasa menggunakan beban rumah tangga variatif sebesar 750W, memiliki efisiensi sebesar 77%, dengan presentase error pengujian sebesar 14%. Terdapat drop tegangan *output* sebesar ±4% pada pengujian inverter dengan beban rumah tangga variatif. Drop tegangan ini masih pada batas toleransi, sehingga tidak mempengaruhi kinerja beban.
- Daya keluaran inverter di tampilkan melalui LCD dengan sensor tegangan LV25-P dan sensor arus ACS712 sebagai referensi mikrokontroler.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anuja Namboodiri, Harshal S. Wani, Unipolar and Bipolar PWM Inverter, IJIRST- International Journal for Innovative Research in Science & Technology, Vol. I December 2014
- [2] ELECTRICIAN – Inverter Satu Fasa Menggunakan Teknik High Voltage PWM. Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, Volume 11, No.2 Mei 2017.
- [3] Fathoni, Modula Ajar Elektronia daya D4, Politeknik Negeri Malang, 2013.
- [4] Panggabean, Subastian Yusuf, F.X Arianto & Syaful Alam, Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan Teknik High Voltage PWM. .
- [5] Turahyo & Noviarianto. Implementasi sinusoidal pulse width modulation pada inverter satu fase berbasis lookup table menggunakan mikrokontroler 16-bit. ELECTRICIAN. Politeknik Mariti Semarang, 2017.