

RANCANG BANGUN CASCADE H-BRIGDE INVERTER 5 TINGKAT BERBASIS MODUL DIGITAL SIGNAL PROCESSOR TMS320F28335

Muhamad Otong¹, Ri Munarto¹, Jevri Arbi Pratama¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.

Informasi Artikel

Naskah Diterima: 21 Juni 2021

Direvisi: 28 Juni 2021

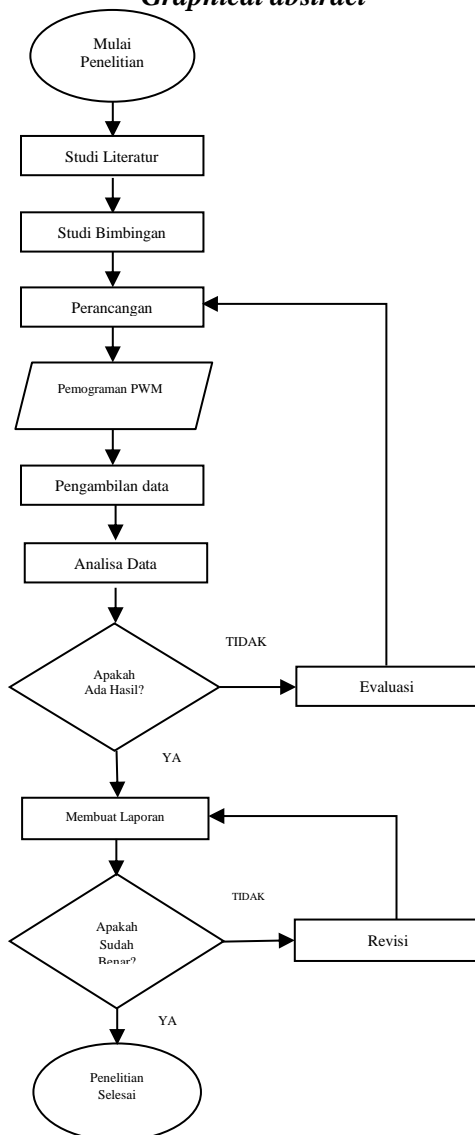
Disetujui: 29 Juni 2021

doi: 10.36055/setrum.v10i1.11919

*Korespodensi Penulis:

muhamad.otong@untirta.ac.id

Graphical abstract



Abstract

New and renewable energy is an alternative source of energy, such as solar power plants. Solar energy is utilized by using solar cells that produce electrical energy in the form of direct current (DC). So that electrical energy can be used for alternating current (AC) loads, an inverter is made which functions to convert voltage and direct current into alternating voltage and current. The results of the conversion on a conventional inverter usually cause harmonic values that can cause interference and damage to electrical devices. Therefore, to reduce harmonics, the Cascade H-Brigde inverter 5 levels based on the Digital Signal Processor were designed. The design of Cascade H-Brigde inverter 5 levels is expected to produce a waveform that is closer to sine and produces a relatively constant voltage and current with a small disturbance value and a high efficiency value. From the results of the inverter design, we get the results of a 5-level multilevel inverter with several load variations from 15 to 100 with an efficiency value of 30% - 67.5%. The inverter designer also proves that the LC filter circuit is very good for selecting high-frequency waves with a THD value of around 9%.

Key words: Design, 5 Level Inverter, Cascaded H-Bridge, Digital Signal Processor (DSP).

Abstrak

Energi baru dan terbarukan merupakan salah satu alternative sumber energi, seperti pembangkit listrik tenaga surya. Energi surya dimanfaatkan dengan menggunakan sel surya yang menghasilkan energi listrik berupa arus searah (*Direct Current/DC*). Supaya energi listrik bisa digunakan untuk beban arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*) maka dibuatlah inverter yang berfungsi mengkonversikan tegangan dan arus searah menjadi tegangan dan arus bolak balik. Hasil dari pengkonversian pada inverter konvensional biasanya menimbulkan nilai harmonisa yang bisa menyebabkan terjadinya gangguan dan kerusakan pada piranti listrik. Maka dari itu untuk mengurangi harmonisa maka di rancanglah *Cascade H-Brigde* inverter 5 tingkat berbasis *Digital Signal Processor*. Perancangan *Cascade H-Brigde* inverter 5 tingkat ini diharapkan dapat menghasilkan bentuk gelombang yang lebih mendekati sinus dan menghasilkan tegangan dan arus yang relative konstan dengan nilai gangguan yang kecil dan nilai efisiensi yang tinggi. Dari hasil perancangan inverter di dapatkan hasil inverter *multilevel* inverter 5 tingkat dengan beberapa variasi beban 15 Ω sampai 100 Ω dengan nilai efisiensi sebesar 30% - 67,5%. Dari hasil perancang inverter juga membuktikan bahwa rangkaian filter LC sangat baik digunakan untuk menyeleksi gelombang berfrekuensi tinggi dengan nilai THD berkisar 9%.

Kata Kunci: Rancang Bangun, Inverter 5 Tingkat, *Cascade H-Brigde*.

©2021 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Peningkatan terhadap kebutuhan energy listrik dan perubahan yang terjadi pada *kondisi* lingkungan seperti pemanasan global menyebabkan kebutuhan akan sumber energy baru yang lebih murah, ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan emisi karbon yang rendah. Salah satu alternatif sumber energi energi baru dan terbarukan merupakan adalah pemanfaatan tenaga surya. Pemanfaatan energi surya dikembangkan dengan dibuatnya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) [1].

Photovoltaic (PV) adalah alat *konversi* dari energi foton sinar matahari ke energi listrik DC. PV pada aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mandiri diimplementasi menggunakan perangkat inverter dan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) untuk memaksimalkan daya keluaran. Inverter *konvensional* yang lazim diimplementasi adalah tipe jembatan empat saklar. Inverter tipe ini untuk mendapatkan harmonisa tegangan keluaran kecil harus dioperasikan pada frekuensi tinggi dan atau tapis yang besar. Karena kemampuan inverter *konvensional* yang terbatas, inverter tingkat jamak banyak diimplementasi untuk mengatasi kemampuan tersebut [2]. *Multilevel* inverter banyak dikembangkan karena kemampuannya untuk membangkitkan sinyal *output* kualitas tinggi dengan frekuensi *switching* yang rendah [3].

Penggunaan inverter sebagai peralatan elektronika daya sangat luas. Inverter *konvensional* yang paling sederhana mempunyai *output* berupa gelombang kotak, dan menggunakan PWM (*Pulse Wide Modulation*) sebagai kontrol *switching* komponen semikonduktor (MOSFET). Inverter *konvensional* gelombang kotak hanya mempunyai tiga *level* tegangan yaitu; +Vdc, -Vdc, dan nol. Penggunaan teknik gelombang kotak biasa pada pengontrolan *switching* inverter *konvensional* menghasilkan bentuk gelombang yang kurang baik sehingga mempunyai distorsi harmonisa yang cukup besar. Pada Inverter jenis PWM bentuk gelombang keluaran sangat dipengaruhi oleh frekuensi *switching* komponen semikonduktor. Semakin tinggi frekuensi *switching* komponen semikonduktor, maka bentuk gelombang semakin mendekati sinusoidal. Inverter *multilevel* pada dasarnya merupakan inverter *konvensional* (tiga *level* tegangan) seperti halnya inverter gelombang kotak yang disusun secara bertingkat (*cascade*). Bentuk gelombang dihasilkan inverter *multilevel* berupa gelombang tangga atau *staircase*. Dengan inverter *multilevel* diperoleh bentuk gelombang yang baik, semakin banyak *level* tegangan yang dihasilkan maka semakin baik pula bentuk gelombang keluaran. Pada inverter *multilevel* tidak diperlukan frekuensi *switching* yang tinggi untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal [4].

2. METODE PENELITIAN

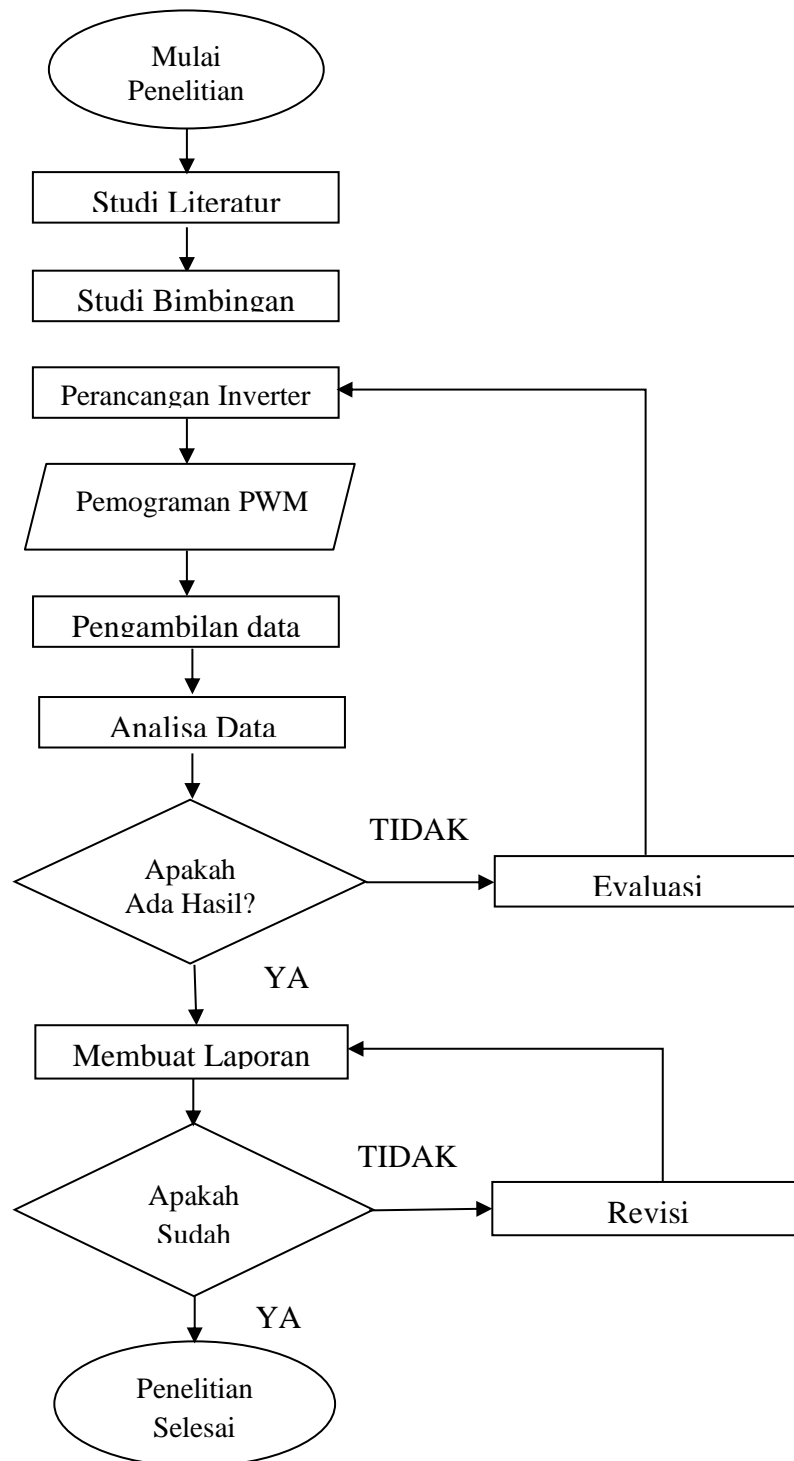
2.1 Metode Penelitian

Proses penelitian terbagi menjadi beberapa tahap yang dilakukan berdasarkan urutan dalam melakukan penelitian:

- a. Identifikasi masalah yaitu dengan merumuskan latar belakang hingga tujuan dalam penelitian ini.
- b. Studi literatur dimaksudkan yaitu untuk mengumpulkan dan mempelajari berbagai sumber referensi dan teori yang berkaitan dengan penelitian skripsi yang lakukan.
- c. Perancangan alat dan pembuatan program alat dilakukan dengan menggunakan sebuah *Code Composer Studio* versi 0.7 Dengan merancang multilevel inverter menggunakan *Digital Signal Processor*. Serta pengendalian driver menggunakan *Pulse Wide Modulation*.
- d. Pengambilan data yang dimaksudkan pada hal ini adalah untuk mengamati hasil data yang akan dianalisis. Dengan menggunakan data *output* sinyal gelombang diperoleh dari Osiloskop.

2.2 Diagram Alir Penelitian

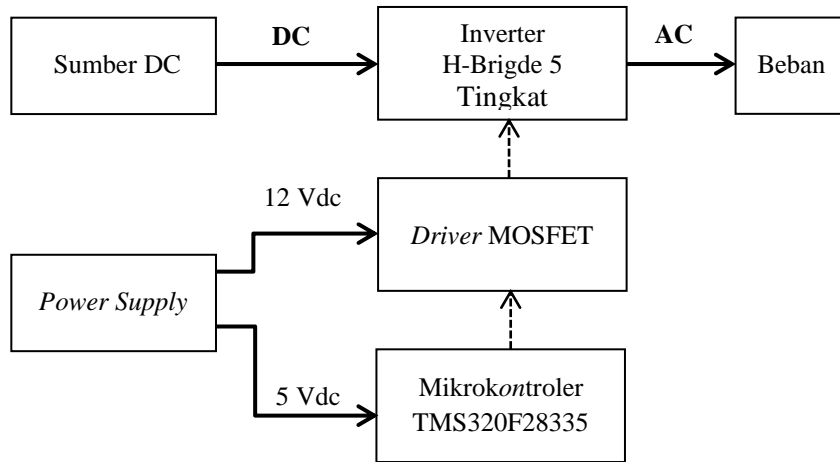
Secara sederhana proses penelitian rancang bangun *cascade h-bridge* inverter 5 tingkat berbasis *digital signal processor* tms320f28335 dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 1.



Gambar .1 Diagram Alir Penelitian

2.3 Perancangan alat

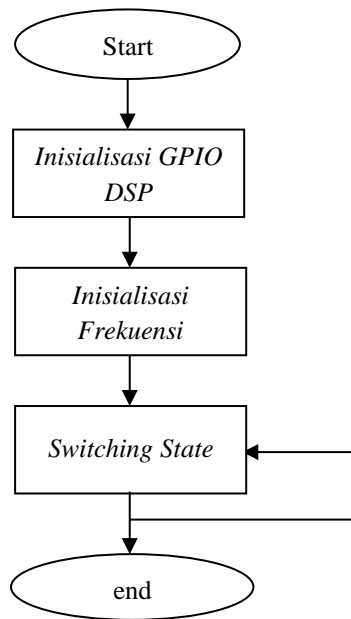
Blok diagram rancangan inverter di tunjukan pada gambar 3.2. Inverter pada skripsi ini terdiri atas berbagai bagian utama yaitu: Mikrokontroler TMS320F28335, Power Supply, Driver MOSFET, inverter *multilevel*.



Gambar 2 Diagram Blok Rancangan Invertar.

3.4 Perancangan Program

Untuk mengendalikan mosfet dibutuhkan sebuah program untuk memicu *driver* mosfet. Berikut diagram perancangan program di tunjukan pada gambar 3.3.



Gambar 3 Diagram Blok Perancangan Program.

Alur kerja program dari sistem *driver* mosfet dijabarkan pada Gambar 3.3. menjelaskan bagaimana program dilakukan tahap demi tahap untuk setiap proses yang dilakukan untuk *driver* mosfet. Pemahaman dan pembahasan yang lebih detail dapat dipelajari pada penjelasan seperti berikut.

1. Memulai membuat program dengan menggunakan *software* Code Composer Studio Versi 7.
2. Menginisialisasi *General Pin Input Output* (GPIO) DSP dengan menggunakan *GpioDataRegs* dengan pin yang di gunakan pin GPIO24, GPIO25, GPIO26, GPIO24, GPIO48, GPIO24, GPIO50, GPIO51.

Tabel 1 Tabel Konfigurasi Pin DSP Dengan Driver MOSFET.

GPIO24	GPIO24	GPIO24	GPIO24	GPIO24	GPIO24	GPIO50	GPIO51
11	21	22	14	23	24	12	13

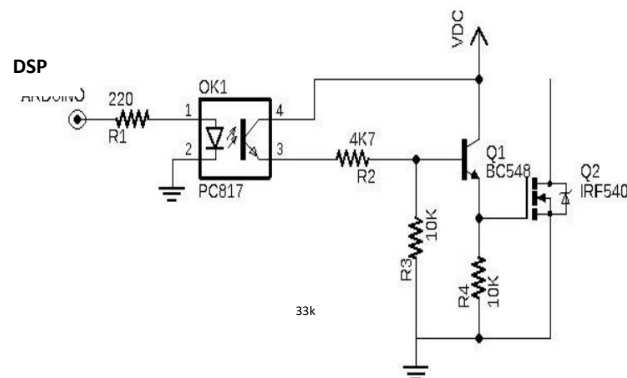
- Menginisialisasi Frekuensi switching. Untuk menghasilkan frekuensi 50 Hz maka di gunakan perhitungan $t = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ detik}$ atau 20 mili detik. Karna menggunakan 8 state maka 20 mili detik dibagi 8 di hasilkan 2,5 mili detik untuk interval setiap state.
- Lalu memasukan mode switching yang berjumlah 8 state ke dalam program untuk menghasilkan *level* tegangan yang di inginkan. Berikut tabel mode switching dapat di lihat di bawah ini.

Tabel 2 Tabel Mode Pensaklaran

Tegangan (Stage)	Saklar							
	S11	S12	S13	S14	S21	S22	S23	S24
0 (1)	1	0	1	0	1	0	1	0
Vdc (2)	1	1	0	0	0	1	0	1
2Vd (3)	1	1	0	0	1	1	0	0
Vdc (4)	1	1	0	0	0	1	0	1
0 (5)	1	0	1	0	1	0	1	0
-Vdc (6)	0	0	1	1	0	1	0	1
-2Vdc (7)	0	0	1	1	0	0	1	1
-Vdc (8)	0	0	1	1	0	1	0	1

3.5 Driver MOSFET

MOSFET IRF 540 mempunyai tegangan *threshold* sebesar 4 volt, dan akan bekerja optimal jika diberikan tegangan pada gatena sebesar 10 volt. Sinyal pemicuan dari mikrokontroler TMS239F28335 hanya mampu memberikan sinyal picu sebesar Vcc 3,3 volt. Oleh karena itu diperlukan rangkaian *driver* untuk mengaktifkan MOSFET. Rangkaian *driver* juga berfungsi sebagai rangkaian isolasi atau pemisah antara tegangan rangkaian kontrol yang berupa tegangan rendah DC terhadap tegangan rangkaian daya.

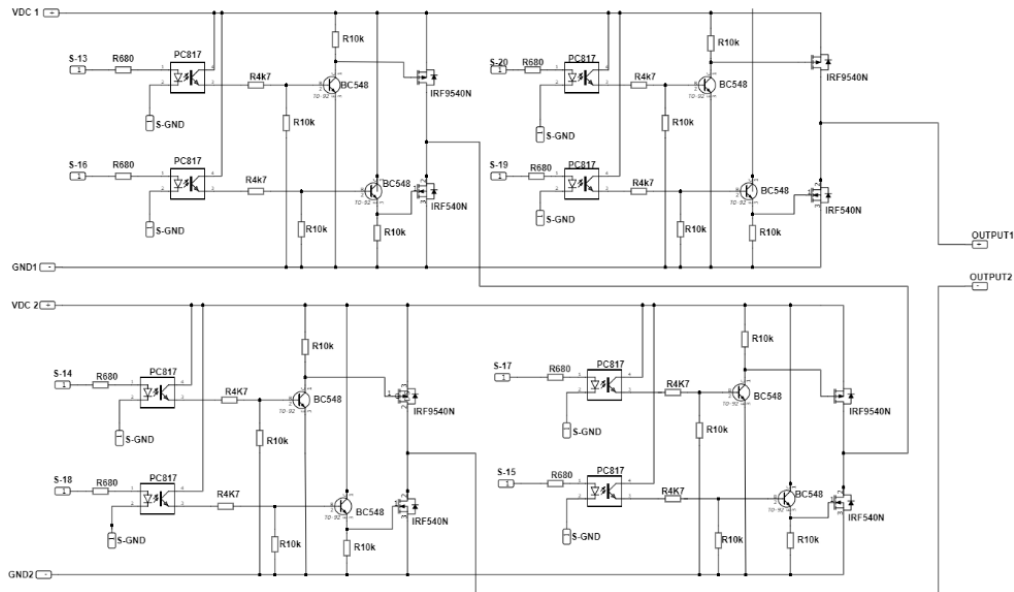


Gambar 4 Rangkaian Driver MOSFET.

3.6 Rangkaian Skematik Multilevel Inverter

Inverter pada perancangan dan pembuatan rangkaian ini di rancang terdiri dari dua tingkat inverter tipe jembatan (*H-Bridge*). Pada komponen pensaklarannya menggunakan MOSFET IRF 540

N. Empat buah mosfet disusun seperti pada inverter jembatan konvensional, terminal output disusun secara bertingkat (*cascade*) seperti terlihat pada gambar 3.5. *Input* dari MOSFET terhubung ke rangkaian *driver* MOSFET. Rangkaian *driver* menghubungkan antara rangkaian *control* dengan MOSFET sehingga rangkaian kontrol dapat berfungsi dengan baik terhadap MOSFET.



Gambar 5. Rangkaian Skematik *Multilevel* Inverter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil perancangan alat *Cascade H-bridge Multilevel* Inverter 5 tingkat berbasis Mikrokontroler *Digital Signal Prosesor* dengan 2 sumber DC sebesar 12 Volt. Perancangan alat ini terdiri dari 3 bagian yang terdiri dari Mikrokontroler DSP TMS320F28335 yang terhubung ke *driver* mosfet yang berfungsi sebagai pengontrol *driver* mosfet pada inverter, lalu ada bagian dari *multilevel* 5 tingkat yang berfungsi sebagai pengubah sumber DC menjadi AC. Bagian yang terakhir ada bagian beban yang berisi trafo untuk menaikkan tegangan dan lampu untuk mendapatkan hasil data pengujian.

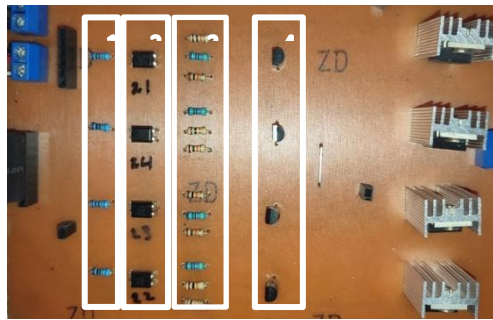


Gambar 6. Perancangan Alat *Multilevel* Inverter.

3.2 Pengujian Sinyal Pemicuan *Driver* Mosfet

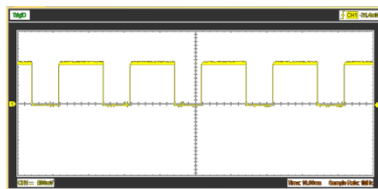
Sinyal pemicuan MOSFET merupakan sinyal PWM yang dihasilkan oleh *General Purpose Input/Output* (GPIO) mikrokontroler DSP. Sinyal picu MOSFET untuk tiap tingkat inverter tidak

sama. Pengujian sinyal picu untuk tiap inverter dilakukan menggunakan osiloskop dapat dilihat pada gambar dibawah.

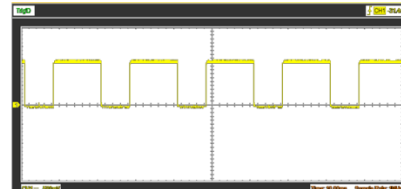


Gambar 7 Perancangan Rangkaian *Driver* MOSFET.

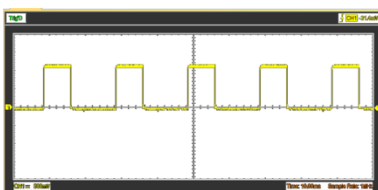
Gambar rangkaian *driver* MOSFET di atas menjelaskan bagian rangkaian *driver*. Bagian 1 merupakan resistor 680 Ohm yang berfungsi untuk menurunkan tegangan *output* mikrokontroler sebesar 3,3 Volt menjadi 1,2 untuk masuk ke optocoupler. Lalu bagian 2 merupakan optocoupler type PC817 yang berfungsi sebagai isolator atau penyekat antara tegangan tinggi dan tegangan rendah diantara mikrokontroler dan inverter. Bagian 3 merupakan resistor 10k Ohm (coklat) dan resistor 4k7 Ohm (biru) . Lalu bagian 4 merupakan transistor type BC548 yang berfungsi untuk mengendalikan mosfet.



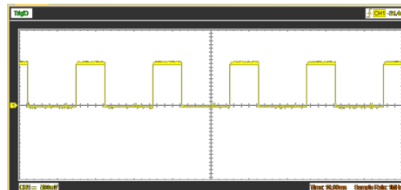
Gambar 4.3 Pengujian Sinyal Picu *Driver* S11.



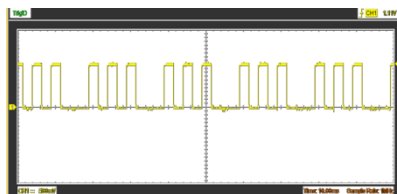
Gambar 4.5 Pengujian Sinyal Picu *Driver* S13.



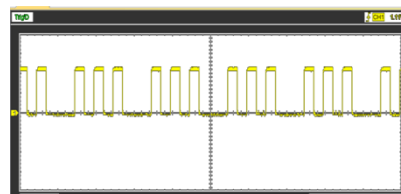
Gambar 4.4 Pengujian Sinyal Picu *Driver* S12.



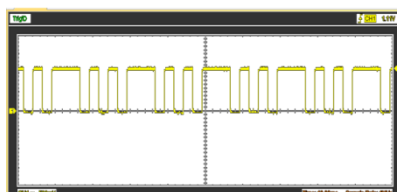
Gambar 4.6 Pengujian Sinyal Picu *Driver* S14.



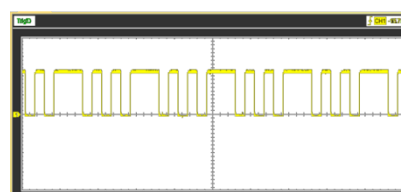
Gambar 4.7 Pengujian Sinyal Picu *Driver* S21.



Gambar 4.9 Pengujian Sinyal Picu *Driver* S23.



Gambar 4.8 Pengujian Sinyal Picu *Driver* S22.



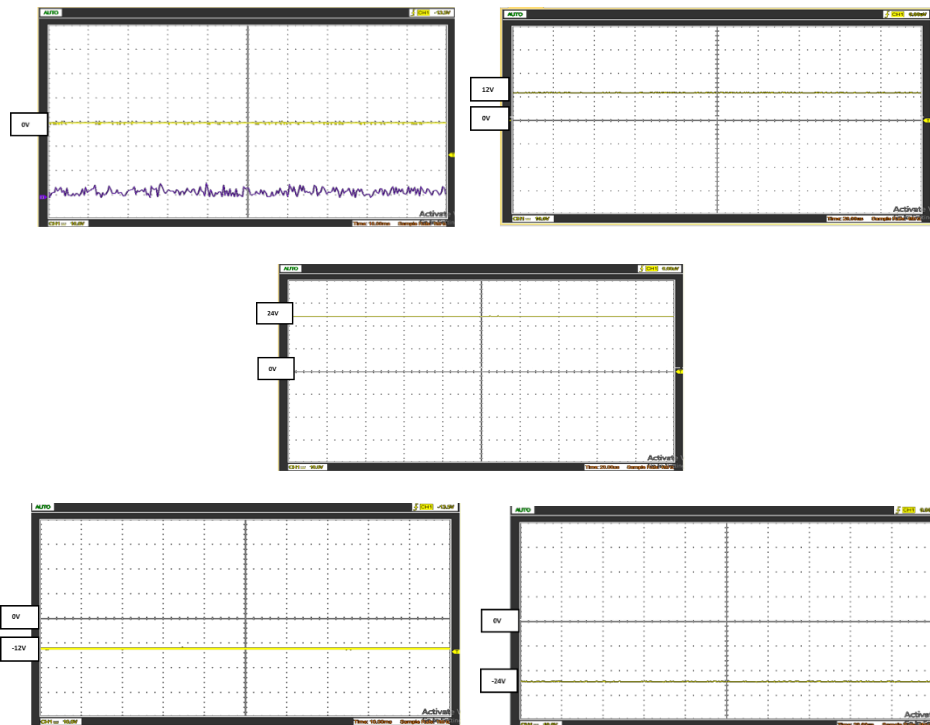
Gambar 4.10 Pengujian Sinyal Picu *Driver* S24.

Gambar 8 Hasil Pengujian Sinyal Picu

Pengambilan data sinyal picu menggunakan osiloskop digital Hantek 6022BE dengan frekuensi 50Hz dengan tegangan yang berasal dari mikrokontroler sebesar 3,3volt lalu masuk kedalam resistor yang bernilai 680 ohm sehingga tegangan yang masuk kedalam *optocoupler* sebesar 1,2 volt dan arus

sebesar 3 mA. Pengujian sinyal picu menggunakan osiloskop menghasilkan tegangan RMS sebesar 600 mV dengan *duty cycle* setiap *driver* yang terukur di osiloskop berbeda-beda, untuk S12,S14,S21, dan S23 yang terukur di osiloskop adalah sebesar 37,5% hasil ini sama dengan hasil dari perhitungan yang mengacu pada tabel pensaklaran. Kemudian untuk hasil *duty cycle* S11,S13,S22, dan S24 yang terukur pada osiloskop sebesar 62,5%.

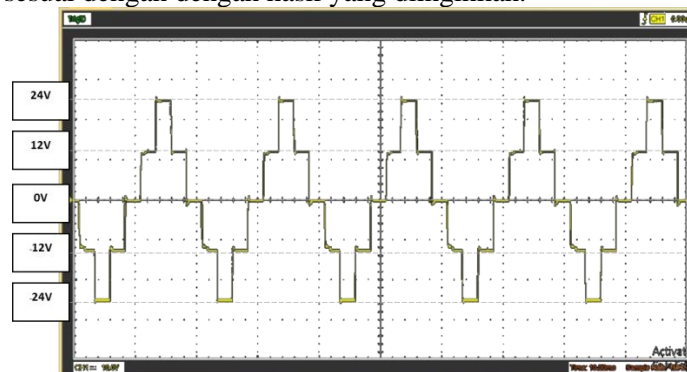
Kemudian pengambilan data pengujian sinyal setiap *level* tegangan dapat di lihat pada gambar dibawah ini. Pengujian pertama yaitu sinyal *level* tegangan 0 Volt dapat di lihat di bawah ini.



Gambar 9. Grafik level tegangan 24V,12V,0V,-12,-24.

3.3 Pengujian Sinyal Gelombang *Output* Tanpa Filter dan Beban

Pengujian sinyal gelombang *output* tanpa filter dan Beban melalui osiloskop bertujuan untuk mengetahui nilai amplitudo, frekuensi, dan bentuk gelombang yang di hasilkan dari *multilevel* inverter 5 tingkat yang sudah sesuai dengan dengan hasil yang diinginkan.



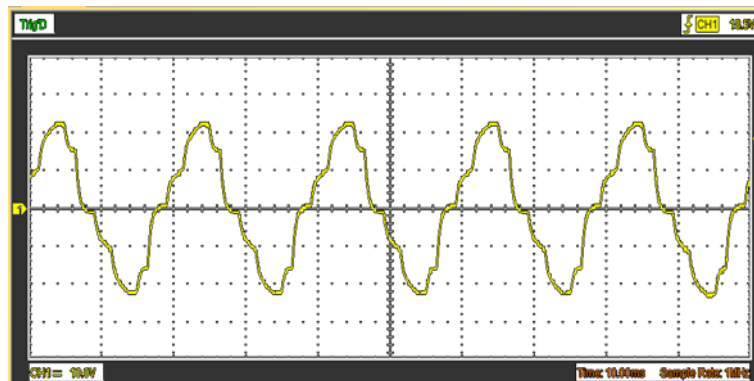
Gambar 10. Hasil Gelombang *Output* Inverter Tanda Filter dan Beban.

Gambar diatas menunjukan gelombang *output* dari tegangan keluran dari inverter yang mempunyai dua sumber DC 12 Vdc . Pengukuran menggunakan osiloskop pada gambar diatas gelombang puncak tegangan 24 Vac dapat di ukur degan dari titik 0 ke puncak gelombang.

Sedangkan pada gelombang puncak atas ke puncak bawah memiliki tegangan 48 Vac ini diukur dari puncak gelombang bawah ke atas. Bentuk gelombang dihasilkan dari sinyal pemicu mosfet yang membuat bentuk gelombang tidak sama tiap tingkatnya. Dari gambar di atas terlihat bahwa bentuk gelombang *output* inverter multi *level* adalah resultan atau hasil penjumlahan dari *output* tegangan dua buah inverter yang di susun secara bertingkat.

3.4 Pengujian Sinyal Gelombang *Output* Dengan Filter

Pengujian sinyal gelombang *output* tanpa filter melalui osiloskop bertujuan untuk mengetahui nilai amplitudo, frekuensi, dan bentuk gelombang yang di hasilkan dari *multilevel* inverter 5 tingkat yang sudah sesuai dengan dengan hasil yang diinginkan.



Gambar 11 Hasil Gelombang *Output* Inverter dengan Filter.

Gambar 11 di atas merupakan hasil pengukuran gelombang *output* inverter yang sudah di pasang filter LC tanpa beban dengan masing-masing nilai L sebesar 33 mH dan nilai C sebesar 250 μ F maka di dapatkan hasil gelombang seperti di atas dengan nilai tegangan RMS sebesar 14,5 Vac dengan frekuensi 50 Hz. Tegangan mengalami peningkatan dari yang sebelum menggunakan filter hanya 13,2 Vac dan yang menggunakan filter 14,5 Vac.

3.5 Pengujian Inverter Dengan Beban Lampu

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian *multilevel* inverter 5 tingkat dengan beban lampu sebesar 20 watt dengan *multilevel* inverter yang mempunyai 2 sumber tegangan 12 VDC.



Gambar 12 Pengujian Dengan Beban Lampu 20 Watt.

Pengujian dilakukan dengan *input* 2 buah sumber Vdc pada *multilevel* inverter 5 tingkat. Polaritas lampu 20 watt dihubungkan dengan bagian sekunder trafo *non center tap* pada titik 0 V dan 220 Vac. Lalu bagian *output* inverter di hubungkan ke bagian primer trafo pada titik 0 V dan 12Vac. Trafo tersebut digunakan sebagai menaikkan tegangan listrik agar bisa menyesuaikan dengan kebutuhan. Melalui Gambar 4.19, dapat ditinjau target dari hasil pencapaian rancang bangun inverter. Inverter tersebut mampu menyalakan lampu 25 W. Dengan pengujian tersebut, tidak terjadi

perubahan intensitas cahaya. Tegangan *output* dan *input* pada inverter tetap pada keadaan beban yang disuplai.

3.6 Pengujian Efisiensi Inverter

Efisiensi menggambarkan efektifitas konverter inverter multi *level* mengkonversikan besaran DC menjadi besaran AC.

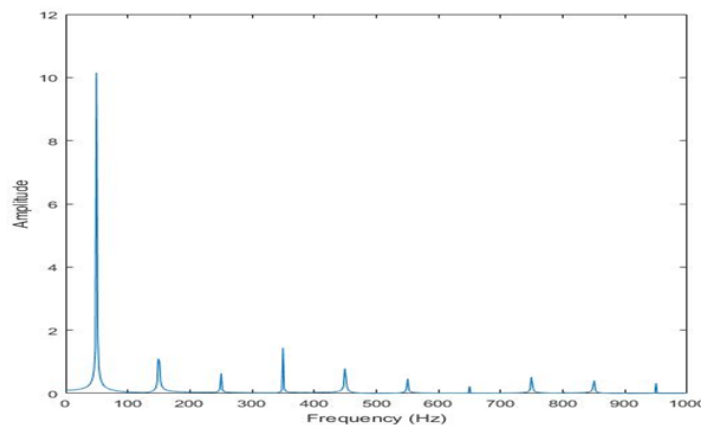
Tabel 3 Tabel Hasil Pengukuran Efisiensi Inverter dengan Beban R.

Beban (R)	P _{in} (Watt)		P _{out}	Efisiensi
	P _{in 1}	P _{in 2}		
15 Ω	12 Watt	12 Watt	12,15 Watt	50 %
20 Ω	14,4 Watt	14,4 Watt	9,73 Watt	67,5 %
35 Ω	6,48 Watt	5,52 Watt	5,72 Watt	47,6 %
100 Ω	3,4 Watt	4,7 Watt	2,5 Watt	30 %

Tabel diatas menampilkan hasil efisiensi dengan menggunakan beban resistor, dapat di lihat semakin besar beban yang di gunakan maka semakin kecil arus yang mengalir dan semakin besar tegangan yang di hasilkan. Dan dari tabel di atas dapat di lihat semakin besar beban maka semakin kecil daya yang di dapat. Untuk efisiensi inverter dapat di lihat di tabel di atas, untuk nilai paling rendah terdapat pada 30 % dan nilai efisiensi yang tinggi berapa pada 67,5 %.

3.7 Pengujian Harmonisa

Proses pengujian rangkaian *multilevel* inverter 5 tingkat dengan filter memiliki ragam pengujian. Pengujian dilakukan dengan membandingkan dengan filter dan tanpa filter. Pada pengujian inverter menggunakan filter ini digunakan osiloskop Hantek sebagai pengambilan data dan Matlab untuk mengolah data sebagai media ukur. Penggunaan Matlab ditujukan agar dapat mengetahui kandungan harmonisa yang ada pada keluaran inverter yang telah melalui filter dan tanpa filter.

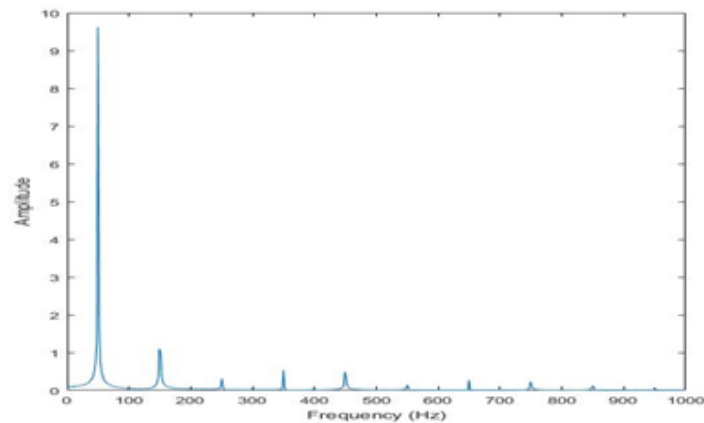


Gambar 13 Grafik Harmonisa Inverter Tanpa Filter.

Tabel 4 Harmonisa Tanpa Filter

Ordo (n)	Frekuensi	Amplitudo
1	50	10,1
3	150	1,2
5	250	0,6
7	350	1,5
9	450	0,8

Gambar di atas menampilkan hasil grafik hasil harmonisa *multilevel* inverter tanpa menggunakan filter. Dari hasil harmonisa di atas di dapat nilai Total Harmonisa Distorsi (THD) sebesar 22%.



Gambar 14 Grafik Hamonisa Inverter Menggunakan Filter.

Tabel 5 Harmonisa Menggunakan Filter

Ordo (n)	Frekuensi	Amplitudo
1	50	9,6
3	150	1,1
5	250	0,3
7	350	0,5
9	450	0,4

Gambar 4.21 di atas menampilkan grafik hasil harmonisa *multilevel* inverter dengan menggunakan filter. Dari hasil harmonisa di atas di dapat nilai Total Harmonisa Distorsi (THD) sebesar 13%.

Dari hasil kedua pengujian harmonisa dengan menggunakan filter dan tidak menggunakan filter di dapatkan hasil nilai Total Harmonisa Distorsi (THD) menggunakan filter lebih kecil dibandingkan dengan tanpa filter, hal ini membuktikan bahwa filter mampu meredam harmonisa dan menurunkan nilai THD inverter sebesar 9 % yang sebelumnya bernilai 22% menjadi 13%.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian rancang bangun *cascade H-bridge* inverter 5 tingkat berbasis *Digital Signal Processor TMS320F28335* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Multilevel* Inverter 5 tingkat tipe *Cascade H-Bridge* satu fasa sebelum dihubung trafo, mampu mengubah 2 buah tegangan *input* 12 VDC menjadi *output* 15,4 VAC dan dapat menyalakan

lampu sebesar 20 Watt. Sehingga piranti tersebut dapat berfungsi sesuai dengan teori yaitu dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC.

2. Mikrokontroler *Digital Signal Processor* terbukti mampu di gunakan untuk mengontrol *driver* mosfet dengan frekuensi pensaklaran yang tinggi dan menghasilkan sinyal picu yang sesuai dengan apa yang di rancang.
3. Dari hasil perancangan inverter di dapatkan hasil inverter *multilevel* inverter 5 tingkat dengan beberapa variasi beban 15 Ω sampai 100 Ω dengan nilai efisiensi sebesar 30 % - 67,5%. Dari hasil perancang inverter juga membuktikan bahwa rangkaian filter LC sangat baik digunakan untuk menyeleksi gelombang berfrekuensi tinggi dengan nilai THD berkisar 9%.

4.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak sekali kekurangan dan ketidaksempurnaan. Untuk itu, perlu dilakukan pengembangan agar ke depannya menjadi lebih baik lagi sehingga memiliki beberapa saran, diantaranya:

1. Suplai DC yang digunakan dapat digunakan yang lebih besar sehingga dapat dicapai tegangan *output* RMS sebesar 220 volt.
2. Menggunakan metode pensaklaran SPWM atau SHEPWM untuk mendapatkan hasil gelombang yang lebih baik dan harmonisa yang lebih rendah.
3. Alat ini dapat dikembangkan sebagai inverter pada pengaturan kecepatan motor induksi.

REFERENSI

- [1] I. Husnaini, "Komparasi *Multilevel* Inverter Satu Fasa," vol. 13, no. 2, pp. 95–99, 2019.
- [2] A. Fatchurahman, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa 9-Tingkat Tipe Asimetris," pp. 24–25, 2019.
- [3] B. A. Yomahudaya and T. Sutikno, "Pembangkit Sinyal SPWM untuk *Multilevel* Inverter Satu Fasa Lima Tingkat Berbasis Mikrokontroler ATmega32," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform.*, vol. 3, no. 2, p. 73, 2017.
- [4] E. A. T. Yuwono and M. Facta, "Inverter Multi *Level* Tipe Jembatan Satu Fasa Tiga Tingkat," *Transmisi*, vol. 13, no. 4, pp. 135–140, 2011.
- [5] M. K. Wardana, I. Fadlika, and A. Fahmi, "Rancang bangun inverter satu fasa SPWM dengan *output* tegangan dan frekuensi variabel," *Tekno*, vol. 28, no. 1, p. 1, 2019.
- [6] Z. Fuadi, M. Ashari, F. A. P, and A. Photovoltaic, "Perancangan dan Simulasi Full Bridge Inverter Lima Tingkat dengan Dual Buck Converter Terhubung Jaringan Satu Fasa," *J. Tek. Pomits*, vol. 3, no. 1, p. : 2337-3539 (2301-9271), 2014.
- [7] I. Engineering, "Hardware Implementation of 5 *Level* Inverter Using Microcontroller," vol. 2, no. 2, pp. 175–182, 2016.
- [8] I. Engineering, "Comparative Study of Three *level* and Five *level* Inverter," pp. 681–686, 2016.
- [9] Royan and Luqman A, "Aplikasi Motor Dc-Shunt Untuk Laboratory Shaker Menggunakan Metode Pwm (Pulse Width Modulation) Berbasis Mikrokontroler Atmega 32," *Media Elektr.*, vol. 8, no. 1, 2015.
- [10] A. I. Control and I. M. Drives, "*Applied Intellegent Control Of Induction Motor Applied Intellegent Control Of Induction Motor Drives.*" 2011.
- [11] J. Linggarjati, "Optimasi Penentuan Jenis Mosfet Pada Pengendali Elektronika Motor BLDC," *J. Tek. Komput.*, vol. 20, no. 9, pp. 102–108, 2012.
- [12] Eka Maulana, "Basic Theory of Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors," *Maulana.Lecture.Ub.Ac.Id*, pp. 1–34, 2014.
- [13] T. Barqie, "Perancangan Inverter Satu Fasa PWM dengan Teknik Eliminasi Harmonisa," pp. 1–6, 2014.
- [14] W. Strauss, *The Scientist and Engineer's Digital signal processing*, vol. 17, no. 2. 2000.

- [15] B. Raton, L. New, Y. Washington, H. A. Toliyat, and S. Campbell, *CRC Press DSP-Based Electromechanical Motion Control Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*. .
- [16] R. ikhtiarina Awwa, A. U. Krismanto, and Y. I. Nakhoda, “Rancang Bangun Filter Pasif,” pp. 1–8.
- [17] D. Setiawan, H. Eteruddin, and A. Arlenny, “Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa Berbasis Arduino Menggunakan Metode SPWM,” *J. Tek.*, vol. 13, no. 2, pp. 128–135, 2019.

