

Desain Inverter 1 Fasa Pada Pembangkit PV 9 X 10 WP Menggunakan Metode SPWM dengan Sistem Kontrol Arduino

Jhon Lodewyik Situmeang¹⁾, Antonius Rajagukguk²⁾, Eddy Evrianto³⁾

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: jhon.lodewyiksitumeang@student.unri.ac.id

ABSTRACT

There were several alternatives that can be used to generate electrical energy, one of the ways is by using solar cells, to fulfill the needs of electrical energy. This solar cells utilization very fit with indonesia climate because indonesia has tropical climate, where the sun shines all year round. Not only that, this energy is renewable, clean and environmentally friendly. In other words this energy inexhaustible and safe as long as the sun can shine. The generator that can be used to produce electrical energy called PV, as it is known, PV itself is a generator that produces DC electricity. In this situation, an inverter is needed to be able to convert DC to AC, because all properties used at home require AC power. In this research the researcher use a PV generator source with 90 Watt-Peak power, therefore the inverter is made to adjust the capacity of the PV generator, where the switching process uses the IRF44n type mosfet, with the mosfet driver using IC type IR2110, where the switching process is itself controlled by Arduino with the SPWM method. so that the output of the inverter is an AC voltage with a frequency of 50Hz

Keywords : PV, Arduino, Switching, Inverter

I. PENDAHULUAN

Untuk mengembangkan atau memanfaatkan sumber-sumber yang ada untuk di jadikan alternatif penyediaan energi yang memiliki kemampuan untuk memasok energi listrik salah satu cara diantaranya adalah dengan pemanfaatan sel surya guna pemenuhan kebutuhan energi listrik. Selain cocok dengan iklim tropis di Indonesia dimana matahari bersinar sepanjang tahun. Energi ini merupakan energi terbarukan, bersih dan ramah lingkungan (Waedhans, Warsito, & Karnoto). Seperti yang diketahui *photovoltaic* (PV) adalah sektor teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi panel surya untuk energi dengan mengubah Sinar matahari menjadi Listrik. Karena sumber energinya itu adalah sinar matahari tentunya kuat atau lemahnya sinar matahari mempengaruhi besar kecilnya tegangan yang di hasilkan, maka tentunya besar tegangan yang di hasilkan tidak akan selalu sama.

Tegangan yang di hasilkan oleh PV adalah tegangan DC. Peralatan listrik yang di gunakan pada rumah tangga umumnya menggunakan sumber tegangan AC seperti kipas angin, TV, mesin cuci, dan lain sebagainya, sehingga alat tersebut tidak akan bisa berfungsi di karenakan tegangan yang di hasilkan dari PV itu sendiri adalah Tegangan DC.

Untuk mengembangkan atau memanfaatkan sumber-sumber yang ada untuk di jadikan alternatif penyediaan energi yang memiliki kemampuan untuk memasok energi listrik salah satu cara diantaranya adalah dengan pemanfaatan sel surya guna pemenuhan kebutuhan energi listrik. Selain cocok dengan iklim tropis di Indonesia dimana matahari bersinar sepanjang tahun. Energi ini merupakan energi terbarukan, bersih dan ramah lingkungan (Waedhans, Warsito, & Karnoto). Seperti yang diketahui *photovoltaic* (PV) adalah sektor teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi panel surya untuk energi dengan

mengubah Sinar matahari menjadi Listrik. Karena sumber energinya itu adalah sinar matahari tentunya kuat atau lemahnya sinar matahari mempengaruhi besar kecilnya tegangan yang di hasilkan, maka tentunya besar tegangan yang di hasilkan tidak akan selalu sama. Tegangan yang di hasilkan oleh PV adalah tegangan DC. Peralatan listrik yang di gunakan pada rumah tangga umumnya menggunakan sumber tegangan AC seperti kipas angin, TV, mesin cuci, dan lain sebagainya, sehingga alat tersebut tidak akan bisa berfungsi di karenakan tegangan yang di hasilkan dari PV itu sendiri adalah Tegangan DC. Maka dari itu penggunaan Inverter adalah solusi terbaik dalam hal ini. sesuai dengan permasalahan di atas penulis memberikan solusi dengan membuat Perancangan Inverter 1 Fasa dengan input tegangan yang di dapatkan dari *Photovoltaic* (PV). Dimana PV tersebut mengeluarkan tegangan yang bervariasi, sehingga perancangan inverter di sesuaikan berdasarkan *Cluster* tegangan maksimum yaitu 53 Vdc dengan frekuensi 50 hz, Dan metode yang digunakan untuk menghasilkan gelombang keluaran mendekati sinusoidal murni yaitu SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*).

II. LANDASAN TEORI

2.1 Photovoltaic (PV)

Efek *Photovoltaic* adalah Potensial Listrik yang ditimbulkan antara dua material yang sama ketika sambungan bersamanya disinari oleh radiasi foton. Sel *Photovoltaic* mengubah cahaya menjadi listrik secara langsung. Sifat-sifat sel *Photovoltaic* sebenarnya sangat mirip dengan sambungan p-n pada diode konvensional. Ketika cahaya diserap dipindahkan kepada sistem elektron material, yang menghasilkan pembentukan pembawa muatan yang terpisah pada sambungan.

Pembawa muatan mungkin saja berupa pasangan elektron-ion pada cairan elektrolit atau pasangan elektron-lubang pada material semikonduktor padat. Pembawa muatan ini kemudian membentuk gradient potensial pada daerah sambungan, dipercepat dalam medan listrik dan mengalir sebagai arus melalui satu rangkaian eksternal. (septayudha, warsito, & Karnoto)

2.2 Inverter

Inverter adalah sebuah perangkat yang bisa mengkonversikan tegangan searah/DC ke tegangan bolak-balik/AC dengan besar tegangan dan frekuensi yang diinginkan. Sumber tegangan input inverter bisa berupa baterai, PV, accumulator/aki, dan sumber tegangan DC lainnya. Adapun output dari inverter adalah berupa tegangan AC 220 volt atau 120 volt dan memiliki frekuensi output 50 Hz ataupun 60 Hz.

Untuk memperoleh tegangan output yang bervariasi, dapat dilakukan dengan membuat variasi tegangan input DC dan menjaga penguatan inverter supaya bernilai tetap. Sebaliknya, apabila tegangan input DC tidak dikendalikan, maka dapat diperoleh tegangan output yang bervariasi dengan cara memvariasikan penguatan daripada inverter. Penguatan inverter dapat diartikan dengan rasio perbandingan antara tegangan output AC terhadap tegangan input DC. Variasi dari penguatan inverter ini biasanya didapatkan dengan cara pengontrolan melalui PWM (*Pulse Width Modulation*) di dalam inverter. (Azmi, Sara, & Syahrizal, 2017)

2.3 Arduino UNO

Arduino Uno adalah sebuah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya. (Azmi, Sara, & Syahrizal, 2017)

2.4 SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*)

SPWM atau *Sinusoidal Pulse Width Modulation* merupakan suatu teknik memanipulasi lebar pulsa dengan cara membandingkan dua buah sinyal yang berbeda, yaitu sinyal referensi (biasanya sinyal sinusoidal) dan sinyal *carrier* (biasanya sinyal segitiga).

Dalam pengaplikasiannya, sinyal SPWM dapat dibangkitkan dalam dua buah metode, yaitu secara analog dan secara digital.

Adapun metode digital yaitu dengan menggunakan bantuan mikrokontroler. Dalam metode ini digunakan beberapa baris *coding* (*source code*) tertentu untuk membangkitkan sinyal SPWM secara langsung tanpa perlu membangkitkan dua buah sinyal seperti halnya pada metode analog. Metode ini lebih dipilih dalam penelitian ini dan hampir banyak sekali digunakan dalam semua jenis *pure sine wave inverter* yang tersedia di *market* karena metode ini lebih murah dan cukup mudah dalam pengaplikasiannya. (Azmi, Sara, & Syahrizal, 2017)

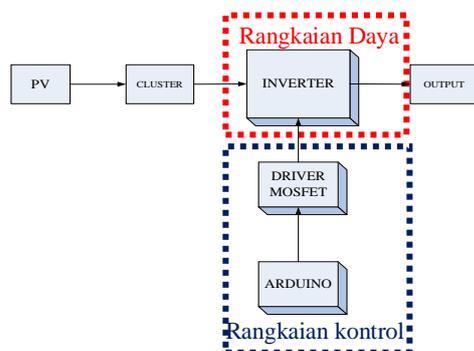
2.5 Pembangkitan PWM

Pembangkitan PWM dilakukan melalui pemrograman dalam mikroprosesor. Mikroprosesor yang digunakan adalah jenis AT89C51. Pada proses pembangkitan SPWM dengan menggunakan 2 buah sinyal sinus dan sebuah sinyal segitiga, dilakukan perbandingan amplitudo antara sinyal segitiga dengan sinyal sinus. Sinyal penggerak akan di bangkitkan apabila amplitudo sinyal sinus lebih besar daripada amplitudo sinyal segitiga. masing-masing sinyal penggerak digunakan untuk menyaklarkan sehingga diperoleh sinyal PWM. (Rusdiyanto & Susanto)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Blok Diagram Sistem

Berikut adalah blok diagram dari rancang bangun penelitian yang akan dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Rancang Bangun

3.2 Desain Inverter

Tahapan awal dari pembuatan suatu inverter adalah suatu perancangan kapasitas dari inverter yang akan di bangun, ini merupakan suatu tahapan terpenting, karena sebagai acuan untuk sistem pengontrolan dan komponen yang akan di gunakan. Sistem pengontrolan dan kapasitas dari setiap komponen yang terdapat pada inverter akan menyesuaikan dengan kapasitas dari inverter yang di telah ditentukan tersebut.

Maka dari itu, pada penelitian ini, inverter yang akan didesain adalah inverter dengan keluaran gelombang sinus (*sine wave*) dengan frekuensi 50 hz

3.3 Pembangkitan sinyal sinusoidal pulse width modulation (SPWM) Resistor

3.1 Menentukan periode gelombang keluaran inverter.

Frekuensi yang akan digunakan adalah 50hz, maka untuk periodenya dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$T = \frac{1}{F}$$

$$T = \frac{1}{50 \text{ Hz}}$$

$$T = 0.02 \text{ s}$$

3.2 Menentukan nilai frekuensi switching

untuk mendapatkan gelombang keluaran dengan frekuensi 50 Hz dibangun dengan banyaknya jumlah PWM yang di bangkitkan. pada penilitian ini ditentukan untuk jumlah PWM yang akan di bangkitkan sebanyak 20 PWM. Adapun cara menentukan nilai frekuensi *switching* dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$f_x = F \times \text{Jmlh. PWM}$$

$$f_x = 50 \times 20$$

$$f_x = 1000 \text{ Hz}$$

3.3 Menentukan periode pada setiap pulsa PWM (*pulse width modulation*)

Adapun cara mengetahui periode *switching* dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$t_x = \frac{1}{f_x}$$

$$t_x = \frac{1}{1000 \text{ Hz}}$$

$$t_x = 0.001 \text{ s}$$

Sesuai dengan hasil perhitungan pada persamaan di atas didapatlah periode *switching* PWM untuk satu buah gelombang sinus adalah $t_x = 0.001\text{ s}$, artinya untuk membangkitkan 20 PWM waktu yang ditempuh yaitu 0.001 s.

Maka dari hasil tersebut dapat mengetahui periode per pulsa yang di bangkitkan dengan mengubah satuan waktunya dari s (*second*) dirubah ke μs (*micro second*), seperti pada persamaan berikut :

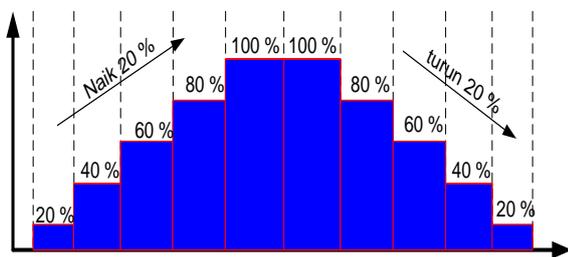
$$t_o = t_x \times 1.000.000$$

$$t_o = 0.001\text{ s} \times 1.000.000$$

$$t_o = 1000\ \mu\text{s}$$

3.4 Membuat look up table Array dengan duty cycle membentuk pola setengah gelombang ($0^\circ - 180^\circ$)

Untuk mendapatkan T_{on} dan T_{off} tentunya melakukan pemilihan *duty cycle* terlebih dahulu, dimana untuk penelitian ini penulis menggunakan *duty cycle* sebesar 20% atau 0.2. Maka dari itu tiap pulsa PWM yang di bangkitkan akan di mulai dengan *duty cycle* sebesar 20%, lalu untuk PWM berikutnya *duty cycle* sebesar 40%, lalu begitu seterusnya hingga mencapai 100% dengan berkelipatan naik 20% . Ketika sudah mencapai 100% lalu dengan pola yang sama namun di buat menurun, sehingga dari *duty* 100% menuju ke 20% dengan berkelipatan menurun 20%, maka dengan proses tersebut terciptalah setengah gelombang ($0^\circ - 180^\circ$). Seperti yang terlihat pada gambar 2



Gambar 2 Pembentukan pola setengah gelombang dengan *duty cycle* 20%

Maka untuk perhitungannya dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$T_{on} = t_o \times \text{duty cycle}$$

$$T_{on} = 1000\ \mu\text{s} \times 20\%$$

$$T_{on} = 200\ \mu\text{s}$$

Untuk mengetahui T_{off} dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$T_{off} = t_o - T_{on}$$

$$T_{off} = 1000\ \mu\text{s} - 200\ \mu\text{s}$$

$$T_{off} = 800\ \mu\text{s}$$

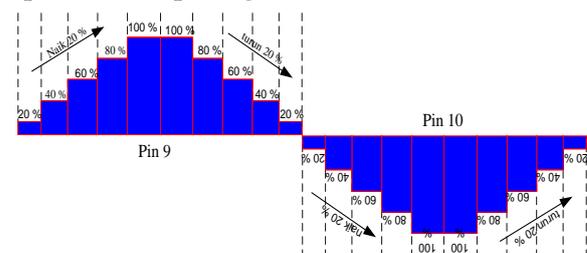
Berikut adalah *look up table Array* untuk setengah gelombang dapat dilihat pada Tabel untuk data yang lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran

Tabel 1 Look up table Array SPWM 50 Hz Setengah Gelombang ($0^\circ - 180^\circ$)

T per pulsa	Duty Cycle	T ON	T OFF
1000	20%	200	800
1000	40%	400	600
1000	60%	600	400
1000	80%	800	200
1000	100%	1000	0
1000	100%	1000	0
1000	80%	800	200
1000	60%	600	400
1000	40%	400	600
1000	20%	200	800

3.4 Penentuan pin SPWM pada mikrokontroler Arduino uno

Untuk membuat sinyal SPWM dengan pola pensaklaran unipolar, maka peneliti menggunakan fitur PWM Arduino terdapat pada pin 9 dan 10, maka dari itu peneliti memprogram pada pin 9 menjalankan *look up table Array* gelombang SPWM pada siklus positif, dan sebaliknya untuk pin 10 adalah untuk siklus negatif, sehingga pin tersebut bekerja berpindah-pindah secara bergantian dan terus menerus secara berulang-ulang. Untuk proses kerjanya dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3 Fungsi pin 9 dan pin 10

3.5 DRIVER MOSFET

pada penelitian ini menggunakan IC IR2110 sebagai *driver* MOSFET nya. IC ini dipilih karena dapat meneruskan sinyal SPWM dengan delay waktu T_{on} dan T_{off} sebesar 120 dan 94 ns, sehingga IC tersebut dapat di pakai untuk *switching* saklar MOSFET tersebut. Dalam pengoperasian IC ini membutuhkan rangkaian sistem minimum agar pin HO dapat bekerja, untuk mendapatkan rangkaian sistem minimum tersebut, di butuhkan kapasitor *coupling* atau komponen *bootstrap* sebagai *supply*, agar IC dapat bekerja. Adapun IR2110 dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4 Gambar *driver* mosfet IC IR2110

3.6 Perancangan H-bridge inverter

Pada komponen rangkaian *h-bridge* menggunakan saklar jenis MOSFET, sehingga untuk pemilihan mosfet itu sendiri harus melalui suatu perhitungan dari kapasitas daya inverter yang dirancang, dimana kapasitas daya inverter adalah 90 Watt, maka dari itu untuk memilih MOSFET yang akan dipakai harus memperhatikan tegangan dan besar arus yang akan mengalir pada saat beroperasi, maka untuk mengetahuinya dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ 90 \text{ Watt} &= 53 \text{ Volt} \times I \\ I &= \frac{90 \text{ Watt}}{53 \text{ Volt}} \\ I &= 1.7 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Maka dari persamaan diatas MOSFET yang dipakai harus mampu mengalirkan arus sebesar 1.7 Ampere dengan *rating* tegangan 53 Volt. Maka dari itu peneliti menggunakan MOSFET dengan type IRF44N dengan kapasitas arus maksimum 45 Ampere dan tegangan operasi maksimum 60 volt. Untuk IRF44N dapat dilihat pada gambar 5

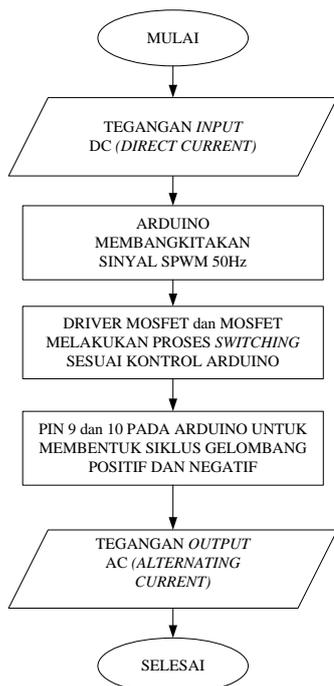


Gambar 5 Gambar mosfet tipe IRF44N

Alasan peneliti memakai jenis MOSFET ini selain karena harga yang mudah terjangkau, jenis tipe MOSFET ini mudah di temukan dipasaran, dan yang paling terpenting tipe MOSFET ini memiliki kapasitas yang mencukupi dengan yang diperlukan.

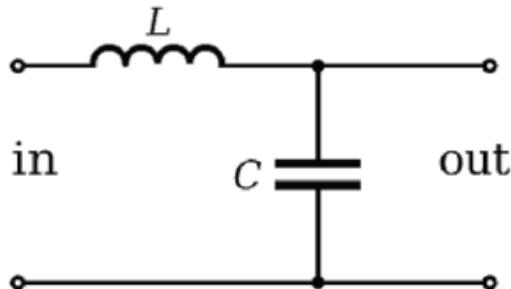
3.7 Diagram alur sistem kontrol

Pada arduino terdapat pin 9 dan 10, ini merupakan bagian terpenting dikarenakan untuk mendapatkan gelombang AC (bolak-balik) tentunya harus memiliki gelombang siklus positif dan negatif, sehingga pin 9 dan 10 dipakai untuk keadaan gelombang positif dan gelombang negatif. Maka dari itu gelombang input DC (searah) setelah melalui sistem kontrol akan menghasilkan gelombang keluaran AC (bolak-balik). Untuk diagram alurnya dapat dilihat seperti pada Gambar.



Gambar 6 Diagram alur sistem kontrol

3.8 Filter LC



Gambar 7 Rangkaian filter LC

Untuk menentukan nilai dari masing-masing komponen baik nilai L ataupun nilai C, adalah dengan menentukan terlebih dahulu salah satu dari komponen. Maka harus memilih salah satu dari komponen yang ditentukan secara langsung nilainya.

Dikarenakan kapasitor merupakan komponen yang mudah ditemukan dipasaran, maka kapasitor dapat langsung ditentukan, dengan menyesuaikan besarnya nilai komponen yang ada di pasaran. Pada kesempatan ini penulis menggunakan kapasitor 10 μf dengan induktor 2.5 mH. maka dengan itu dapat digunakan persamaan berikut :

$$f_{\text{cut off}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_{\text{cut off}} = \frac{1}{(2 \times 3.14) \sqrt{(2.5\text{mH} \times 10\mu\text{f})}}$$

$$f_{\text{cut off}} = 1006 \text{ Hz}$$

3.9 Efisiensi

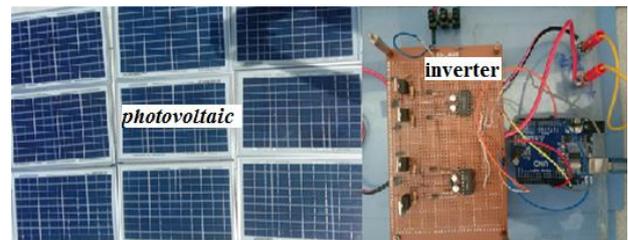
Efisiensi daya merupakan suatu nilai yang menyatakan seberapa persen penyaluran daya dari input rangkaian dengan daya pada output. Jika efisiensi seratus persen maka daya pada input tersalurkan dengan sempurna pada sisi output rangkaian. Efisiensi dicari dengan membagi daya output rangkaian dan daya input sehingga dapat dituliskan dengan Persamaan 2.20 (Rashid, 2001).

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Rangkaian Blok Sistem Keseluruhan

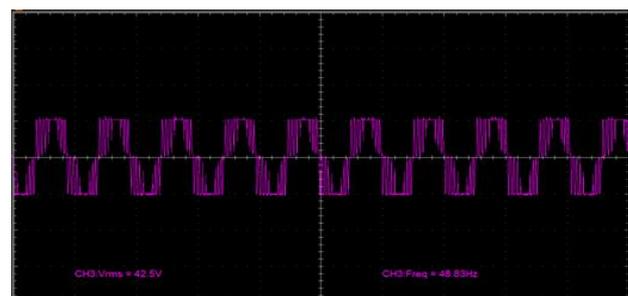
keluaran dari inverter berupa sinyal gelombang sinus, adapun rangkain blok sistem secara keseluruhan dapat di lihat pada Gambar



Gambar 8 Rangkaian sistem keseluruhan

4.2 Pengujian pengukuran gelombang switching inverter

Seperti yang diketahui pada penelitian ini, sumber input didapatkan dari PV (*photovoltaic*), maka tegangan input yang diberikan merupakan tegangan DC, Pada tahapan ini menampilkan bentuk sinyal gelombang keluaran yang dihasilkan dari proses *switching* dari pengukuran inverter seperti yang terlihat pada gambar



Gambar 9 gelombang keluaran *switching*

dimana untuk tegangan outputnya dapat dilihat juga yaitu sebesar 42.5 Vac, dan frekuensi keluaran yang terukur yaitu sebesar 48.83 Hz.

4.3 Pengujian pengukuran tegangan

4.3.1. Pengukuran tegangan *input*

untuk tegangan *input* berupa tegangan DC, maka dari itu alat ukur yang digunakan diatur untuk menampilkan tegangan DC, untuk hasil pengukuran yang akan ditampilkan hanya mengambil salah satu dari proses pengukuran, maka dari itu dapat dilihat pada gambar



Gambar 10 Pengukuran tegangan *input*

4.3.2. Pengukuran tegangan *output*

untuk tegangan yang dihasilkan adalah tegangan AC, maka untuk alat ukur yang dipakai diatur terlebih dahulu pada pengukuran tegangan AC untuk menampilkan besarnya nilai tegangan keluaran AC, seperti yang terlihat pada gambar



Gambar 11 Pengukuran tegangan *output*

4.4 Pengujian pengukuran tegangan pada inverter tanpa beban

Tabel 2 Tabel data nilai tegangan hasil pengukuran

V in	V out
50.9 Vdc	47.3 Vac
50.1 Vdc	41.15 Vac
34.8 Vdc	28.93 Vac
32.3 Vdc	26.8 Vac
21.3 Vdc	17.9 Vac
16.4 Vdc	15.8 Vac

Dari data hasil pengukuran yang diperoleh dapat dilihat bahwa tegangan *input* dan tegangan *output* berbeda besar nilainya. Hal tersebut terjadi karena adanya *losses* sehingga besarnya nilai tegangan *input* berbeda dengan besarnya nilai tegangan pada *output*.

4.5 Pengujian pengukuran inverter dengan beban

Pada sub bab ini membahas tentang hasil pengujian pengukuran dari inverter dengan menggunakan beban dan tegangan keluaran diambil dari trafo *stepup*. Seperti yang terlihat pada tabel

Tabel 3 Tabel pengukuran inverter dengan beban

R (Watt)	V _{in} (Volt)	I _{in} (Ampere)	V _{out} (Volt)	I _{out} (Ampere)	P _{in} (Watt)	P _{out} (Watt)
10	12	2.37	214	0.1	28.44	21.4
10	28	1.03	218	0.09	28.84	19.62
10	45	0.75	232	0.09	33.75	20.88
20	12	3.2	208	0.14	38.4	29.12
20	28	1.42	214	0.14	39.76	29.96
20	45	1.07	228	0.16	48.15	36.48

Seperti yang terlihat pada tabel 3 merupakan tampilan dimana V_{in} merupakan tegangan yang telah dirubah menjadi tegangan AC, dan V_{out} merupakan tegangan yang diukur dari terafo. Dengan beban lampu 10 dan 20 Watt. Dengan keadaan tegangan input bervariasi, dimulai dari 12, 28, dan 45 Vac.

4.6 Efisiensi

Hasil perhitungan efisiensi dapat dilihat pada tabel

Tabel 4 Tabel efisiensi daya

P _{in} (Watt)	P _{out} (Watt)	Efisiensi(%)
28.44	21.4	75.24613
28.84	19.62	68.03051
33.75	20.88	61.86667
38.4	29.12	75.83333
39.76	29.96	75.35211
48.15	36.48	75.76324

Seperti yang terlihat pada tabel 4 efisiensi yang didapat itu diantara 61% - 75%. Sesuai dengan data pada tabel 4 besarnya nilai efisiensi dipengaruhi pada nilai daya *input* dan nilai daya *output*, jika besarnya nilai daya *output* semakin mendekati besarnya nilai daya *input* maka besarnya nilai efisiensi semakin besar, demikian sebaliknya apabila besarnya daya *output* menjauhi besarnya daya *input* maka nilai efisiensi semakin kecil.

4.7 Validasi

tahapan ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana hasil dari rancang bangun alat yang dibuat dengan hasil rancangan pada simulasi. Mungkin ada beberapa jenis *software* pendukung yang dapat dipakai dalam perancangan simulasi,

namun untuk penelitian ini simulasi yang dipakai menggunakan jenis *software* pendukung yaitu MATLAB R2016a.

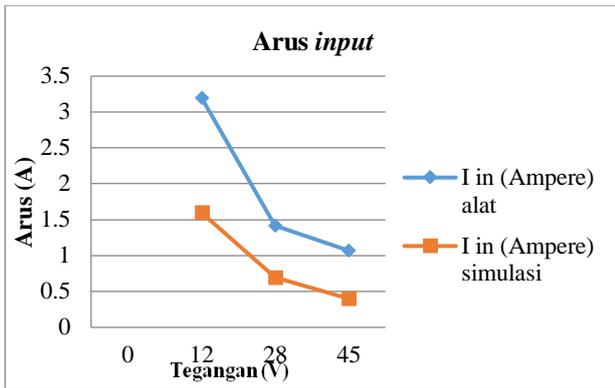
Tabel 5 Tabel tegangan pada simulasi dan alat

ALAT		SIMULASI	
V _{in} (DC)	V _{out} (AC)	V _{in} (DC)	V _{out} (AC)
50.9	47.3	51.38	51.38
50.1	41.15	44.84	44.84
34.8	28.93	35.97	35.97
32.3	26.8	21.6	21.6
21.3	17.9	18.39	18.39
16.4	15.8	17.01	17.01

Dari data pada tabel 5 dapat dilihat keadaan tegangan *input* dan *output* pada inverter menggunakan prototipe dan simulasi, seperti salah satu dari hasil pengukuran pada prototipe, dimana pada saat tegangan *input* 50.9 Vdc dan tegangan *output* 47.3 Vac. untuk pengukuran simulasi tegangan *input* 51.38 Vdc dan tegangan *output* juga 51.38 Vac. sehingga dapat terlihat pada keadaan ini, pada simulasi tegangan *input* dan *output* besarnya sama, namun untuk prototipe tegangan *input* dan *output*nya berbeda, namun tidak begitu jauh besar nilai tegangannya.

Hal ini mungkin saja terjadi dikarenakan pada prorotipe menggunakan komponen-komponen yang memiliki nilai tahanan yang dapat mengakibatkan terjadinya *losses*

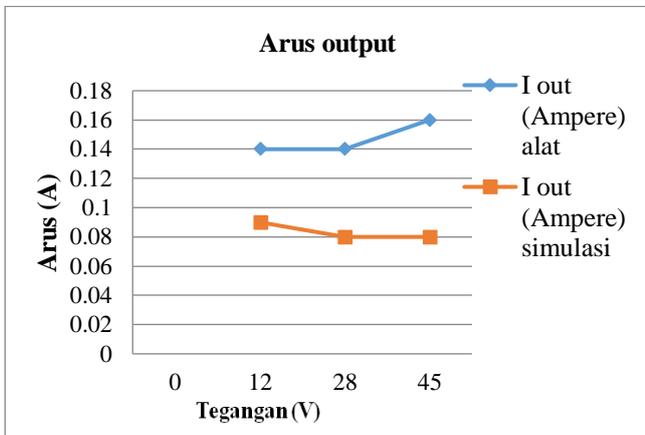
Untuk tahapan berikutnya akan memvalidasi arus yang terukur baik secara simulasi maupun dari hasil pengukuran pada prototipe dalam bentuk kurva, dengan memperlihatkan bagaimana keadaan arus terhadap beban. Seperti yang terlihat pada gambar 12, menampilkan kurva arus input yang didapatkan pada saat beban, dimana semakin besar tegangan, maka semakin kecil besarnya arus.



Gambar 12 kurva validasi arus *input* pada beban 20 (Watt)

besarnya nilai arus akan semakin tinggi jika beban semakin besar, Saat tegangan semakin besar nilai arus semakin turun, namun letak perbedaannya besarnya nilai arus dikarenakan perbedaan besarnya beban yang digunakan.

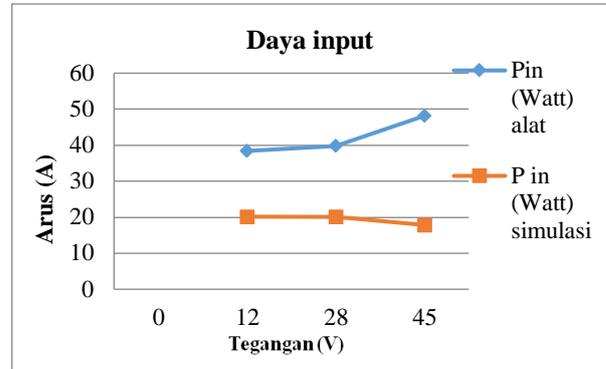
Untuk keadaan berikutnya adalah validasi arus *output*, dimana pada tahapan ini akan menampilkan keadaan arus yang dikeluarkan dalam bentuk kurva, seperti yang terlihat pada gambar



Gambar 13 kurva validasi arus *output* pada beban 20 (Watt)

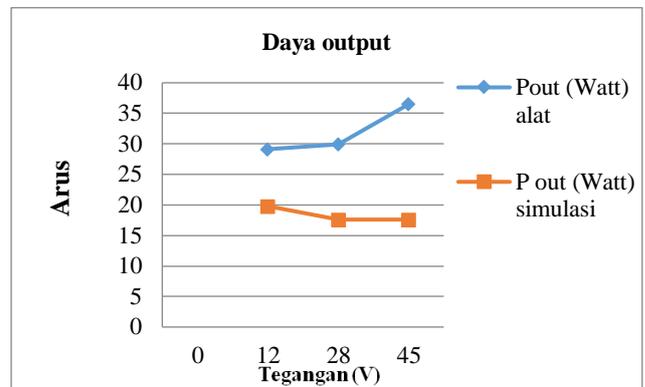
Pada simulasi terlihat sama besar nilai arusnya baik pada saat berbeda-beda besar tegangannya, sedangkan pada prototipe terlihat sedikit menurun pada saat tegangan semakin besar, namun arusnya turun pada saat ditegangan 12 menuju 28 V saja, sedangkan pada saat diposisi 28 menuju 45 V, arusnya sama.

Untuk tahapan berikutnya yaitu membahas tentang daya yang didapatkan baik secara simulasi maupun prototipe.



Gambar 14 kurva validasi daya *input* pada beban 20 (Watt)

Validasi berikutnya adalah daya *output*, dimana menampilkan kurva yang dibetuk berdasarkan daya yang didapatkan, baik secara prototipe maupun secara simulasi.



Gambar 15 kurva validasi daya *output* pada beban 20 (Watt)

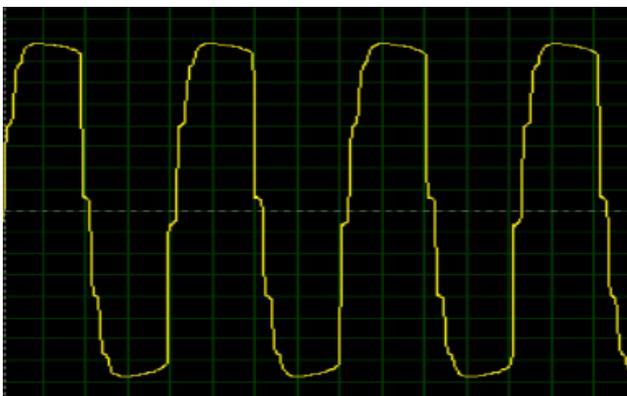
Berdasarkan daya *input* dan *output* yang didapatkan melalui pengukuran pada prototipe, maka dalam simulasi juga dapat diperoleh daya *input* dan *output*. dengan didatakannya daya *input* dan *ouput* baik secara simulasi maupun prototipe, maka dapat diperoleh validasi efisiensi, seperti yang terlihat pada tabel 6

Tabel 6 Tabel validasi efisiensi simulasi dan alat

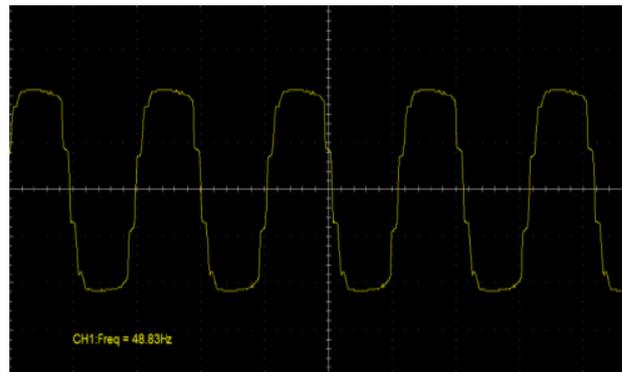
R (Watt)	Pin (Watt) simulasi	Pout (Watt) simulasi	Efisiensi (%) simulasi	Efisiensi (%) alat
10	11.34	8.8	77.6	75.2
10	11.5	8.8	76.5	68.03
10	8.926	8.8	98.5	61.8
20	20.16	19.8	98.2	75.8
20	20.125	17.6	87.4	75.3
20	17.852	17.6	98.6	75.8

Berdasarkan dari data pada tabel 7 dapat dilihat bahwa efisiensi pada simulasi didapatkan adalah 76% - 98%, dan pada efisiensi prototipe dari 61% - 75%. Jika dirata-ratakan berdasarkan efisiensi yang didapatkan, maka untuk efisiensi rata-rata pada simulasi adalah 89%, dan untuk efisiensi pada prototipe adalah 72%.

Pada tahapan ini membahas tentang validasi gelombang keluaran yang didapatkan baik dari prototipe dan juga melalui simulasi.



Gambar 16 Gelombang keluaran simulasi inverter



Gambar 17 Gelombang keluaran prototipe inverter

Berdasarkan hasil validasi gelombang keluaran inverter, dapat dilihat bahwa baik simulasi maupun secara prototipe, bentuk gelombang keluaran sama, dengan frekuensi yang terukur adalah 48.83Hz.

V. KESIMPULAN

Adapun beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penulisan skripsi ini yaitu tegangan *input* DC menjadi tegangan *output* AC, namun besarnya nilai tegangan *input* berbeda dengan besarnya nilai tegangan *output*, seperti yang terlihat dalam salah satu data pengukuran tegangan *input* 16.4 Vdc menjadi tegangan *output* 15.8 Vac.

Berdasarkan hasil pengujian sistem kendali dengan penerjemahan algoritma yang diinput kedalam arduino berdasarkan sistem *source code* menghasilkan frekuensi keluaran sebesar 48.83 Hz, dimana untuk hasil keluaran sudah mendekati frekuensi yang diinginkan yaitu sebesar 50 Hz. Dalam penelitian ini juga didapatkan besarnya efisiensi alat melalui hasil pengukuran pada pengujian alat, dimana hasil pengujian efisiensi yang didapatkan dalam keadaan inverter terhubung pada beban lampu dan trafo *step-up* 220V, nilai rata-rata efisiensi yang didapatkan adalah sebesar 72.01%.

Berdasarkan hasil validasi menampilkan hasil analisa dalam bentuk pola kurva tegangan, arus, dan daya, yang didapatkan melalui hasil pengukuran pada alat maupun pada simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, K., Sara, I. D., & Syahrizal. (2017). *Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa dengan menggunakan metode SPWM berbasis Arduino*, 36-44.
- Azmi, K., Sara, I. D., & Syahrizal. (2017). *Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa dengan Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arduino*, 36-44.
- Hutagalung, S. N., & Panjaitan, M. (2017). *Prototype Rangkaian Inverter DC Ke AC 900 Watt*. 278-280.
- Rusdiyanto, A., & Susanto, B. (n.d.). *Perancangan Inverter Sinusoidal 1 Fasa dengan Aplikasi Pemrograman Rumus Parabola dan Segitiga Sebagai Pembangkit Pulsa PWM*, 1-7.
- Rusdiyanto, A., & Susanto, B. (n.d.). *Perancangan Inverter Sinusoidal 1 Fasa dengan Aplikasi Pemrograman Rumus Parabola dan Segitiga Sebagai pembangkit Pulsa PWM*. 1-7.
- septayudha, A., warsito, A., & Karnoto. (n.d.). *perancangan inverter jenis push-pull dan on/off battery charger regulator (BCR) pada aplikasi fotovoltaik sebagai sumber energi untuk pompa air atau penerangan*, 1-6.
- Waedhans, I. S., Warsito, A., & Karnoto. (n.d.). *Perancangan Inverter Push Pull Resonan Paralel Pada Aplikasi Fotovoltaik*. 1-6.
- Wardhana, I. S., warsito, A., & Karnoto. (n.d.). *Perancangan inverter Push Pull Resonan Paralel Pada Aplikasi Fotovoltaik*. 1-6.