

Implementasi Pompa Air Tenaga Surya Menggunakan Inverter Boost Satu Fasa

Muldi Yuhendri^{1*}, Aswardi¹, dan Ahyanuardi¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

^{*}Corresponding author, e-mail: muldiy@ft.unp.ac.id

Abstrak— Pompa air tenaga surya adalah salah satu alternatif penyediaan air bersih untuk daerah yang belum terjangkau jaringan listrik. Pompa air tenaga surya membutuhkan peralatan yang dapat menaikkan tegangan panel surya sesuai dengan rating tegangan motor pompa air dan inverter untuk mengkonversikan tegangan dc panel surya menjadi tegangan ac sesuai dengan tegangan motor pompa air. Paper ini mengusulkan inverter *boost* satu fasa untuk pompa air tenaga surya yang dapat menaikkan sekaligus mengkonversikan tegangan dc menjadi tegangan ac tanpa menggunakan transformator. Modulasi inverter dirancang menggunakan metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) yang diimplementasikan dengan arduino uno. Pompa air tenaga surya diimplementasikan untuk penyediaan air bersih di Mesjid dengan menggunakan panel surya 300 WP. Hasil pengujian di lapangan menunjukkan bahwa pompa air tenaga surya yang diusulkan telah bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Inverter *boost* satu fasa yang diusulkan telah dapat mengkonversikan tegangan panel surya sesuai dengan rating tegangan motor pompa air.

Kata Kunci : Pompa air, Panel surya, Inverter *boost*, arduino, SPWM

Abstract— Solar water pumps are an alternative supply of clean water to areas not yet reached by the electricity network. Solar water pump requires equipment that can raise the voltage of the solar panel in accordance with the voltage rating of the water pump motor and inverter to convert the dc voltage of the solar panel to the ac voltage in accordance with the voltage of the water pump motor. This paper proposes a single phase boost inverter for solar water pumps that can increase as well as convert dc voltage to ac voltage without using a transformer. The inverter modulation is designed using the *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) method which is implemented with Arduino Uno. The solar water pump is implemented to supply clean water in the mosque using 300 WP solar panels. The experiment results indicate that the proposed solar water pump is working properly as expected. The proposed boost inverter has been able to convert the solar panel voltage in accordance with the water pump motor voltage rating.

Keywords : Water pump, Solar panel, Boost inverter, Arduino, SPWM



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License

I. PENDAHULUAN

Air bersih adalah salah satu kebutuhan yang sangat vital untuk rumah ibadah, terutama ketika akan melaksanakan shalat. Air bersih ini dibutuhkan untuk berwudhu sebelum shalat dilaksanakan. Air bersih di rumah ibadah ini umumnya diperoleh dari sumur dengan menggunakan pompa air listrik. Penyediaan air bersih untuk rumah ibadah ini menjadi masalah, terutama bagi daerah-daerah yang belum dialiri jaringan listrik atau di daerah yang gangguan jaringan listriknya

masih tinggi. Seperti yang terjadi di Mesjid Raya Kampung Tengah, dimana penjaga masjid sering mengambil air secara manual ketika jaringan listrik mati. Untuk mengatasi hal ini, dirancang pompa air tenaga surya yang dapat bekerja secara otomatis dalam menyediakan air bersih untuk mesjid.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam merancang pompa air tenaga surya, seperti jenis motor penggerak, kapasitas pompa, kedalaman sumur, dan kapasitas panel surya [1-

4]. Umum-nya pompa air skala kecil menggunakan motor induksi arus bolak balik satu fasa, sedangkan tegangan yang dihasilkan panel surya dalam bentuk arus searah. Oleh sebab itu, dibutuhkan inverter untuk mengkonversikan tegangan searah panel surya menjadi tegangan bolak balik untuk motor pompa air. Motor pompa air satu fasa ini memiliki rating tegangan 220 volt, sesuai dengan standar tegangan jaringan tegangan rendah satu fasa di Indonesia. Sementara tegangan yang dihasilkan panel surya di bawah rating tegangan motor terse-but. Oleh sebab itu, dibutuhkan juga alat yang dapat menaikkan tegangan sesuai dengan kebutuhan tegangan motor.

Beberapa tipe konverter daya telah dikembangkan untuk mendapatkan tegangan bolak balik dari panel surya, seperti penggunaan konverter dc-dc *boost* dan inverter satu fasa [5]. Dalam skema ini digunakan dua buah konverter daya, yaitu konverter dc-dc *boost* untuk menaikkan tegangan searah panel surya dan inverter satu fasa untuk mengkon-versikan tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Contoh konverter lain yang digunakan adalah inverter satu fasa tipe jembatan yang dilengkapi dengan transformator untuk menaikkan tegangan pada sisi luaran inverter [1] dan inverter *boost* satu fasa [6]. Kelebihan inverter *boost* satu fasa ini adalah tidak menggunakan transformator atau tambahan konverter lainnya untuk menaikkan tegangan, sehingga lebih ekonomis untuk diimplementasikan [7-8]. Berdasarkan kelebihan dan kekurangan masing-masing konverter, maka dalam penelitian ini dipilih inverter *boost* satu fasa sebagai alat untuk menaikkan sekaligus mengkon-versikan tegangan panel surya menjadi tegangan bolak balik sesuai dengan kebutuhan tegangan motor pompa air.

Tegangan yang dihasilkan panel surya bervariasi sesuai dengan perubahan radiasi matahari dan temperatur panel surya [9-10]. Di sisi lain, motor pompa air membutuhkan tegangan yang konstan. Oleh sebab itu, dibutuhkan kendali tegangan inverter *boost* agar tegangan luarannya tetap konstan walaupun tegangan yang dihasilkan panel surya berubah. Pengendalian tegangan luaran inverter *boost* dapat dilakukan dengan mengatur pulsa modulasi sakelar konverter. Dalam paper ini, pengaturan pulsa modulasi dirancang menggunakan metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM), yang diimplementasikan dengan mikro-kontroller arduino uno. Pulsa modulasi dari SPWM diperoleh dengan cara membandingkan sinyal

tegangan referensi dalam bentuk gelombang sinus dengan sinyal *carrier* dalam bentuk gelombang segitiga [11]. Pengaturan tegangan luaran inverter *boost* dengan metode SPWM dilakukan dengan mengatur nilai tegangan referensi SPWM pada arduino uno.

Faktor lain yang perlu diperhatikan dalam membuat pompa air tenaga surya adalah kontinuitas ketersediaan air bersih dari pompa. Cahaya matahari hanya tersedia di siang hari, sementara air bersih di mesjid dibutuhkan siang dan malam. Oleh sebab itu, dibutuhkan penyimpan energi yang dapat menjamin tersedianya air bersih sepanjang waktu. Penyimpanan energi pada pompa air tenaga surya dapat dilakukan dalam dua bentuk, yaitu dalam bentuk energi listrik atau dalam bentuk energi air [12-15]. Penyimpanan energi listrik pada pompa air tenaga surya dapat dilakukan dengan menggunakan baterai [14] atau dengan menggunakan kapasitor [4], sedangkan penyimpanan energi air pada pompa air tenaga surya dapat dilakukan dengan menggunakan tanki air [15]. Dalam penelitian ini, penyimpanan energi pompa air tenaga surya dirancang dengan menggunakan tanki air. Dalam skema ini, pompa air akan terus bekerja mengisi air pada tanki pada siang hari. Untuk mengontrol air agar tidak meluap pada tanki, maka digunakan saklar apung untuk memutus dan menghubungkan pompa air dengan tenaga air.

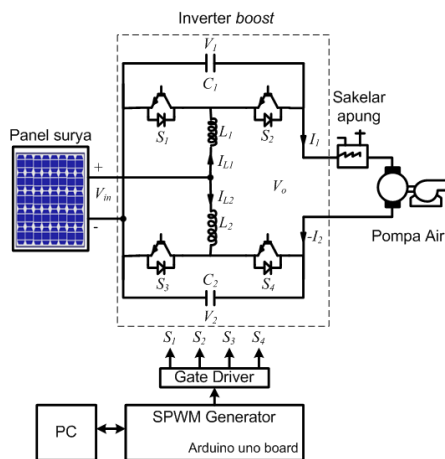
II. METODE

Penelitian ini dilakukan dalam bentuk eksperimen di laboratorium dan lapangan. Eksperimen yang dilakukan mencakup pembuatan dan pengujian inverter *boost* satu fasa yang akan diimplementasikan pada pompa air otomatis tenaga surya. Inverter *boost* satu fasa ini berfungsi sebagai alat untuk mengkonversikan tegangan dc panel surya menjadi tegangan ac sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan oleh motor pompa air. Teknik modulasi inverter *boost* satu fasa ini dirancang menggunakan SPWM yang diimplementasikan dengan arduino. Untuk otomatisasi pompa air, digunakan sakelar apung yang dipasang dalam tanki air. Gambar 1 menunjukkan skema pompa air tenaga surya yang diusulkan dalam penelitian ini. Sistem yang diusulkan terdiri dari panel surya sebagai sumber tenaga listrik, inverter *boost* untuk mendapatkan tegangan ac dari panel surya, pompa air dengan penggerak motor induksi satu fasa, sakelar apung, arduino uno untuk membangkitkan pulsa modulasi untuk

inverter dan komputer untuk pemrograman arduino.

A. Pompa Air

Pompa air tenaga surya adalah pompa air yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi penggerak pompanya. Pompa air tenaga surya ini menggunakan panel surya untuk mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik dan energi listrik inilah yang dimanfaatkan untuk menggerakkan motor pompa air. Pompa yang digunakan umumnya adalah pompa sentrifugal, yaitu pompa air yang bekerja berdasarkan daya sentrifugal dari impeller (kipas) yang diputar oleh motor listrik [13]. Ada beberapa jenis motor listrik yang digunakan untuk pompa air, seperti motor induksi, *brushless* DC motor, *switched reluctance motor* dan *permanent magnet synchronous motor* [2]. Dalam penelitian ini, pompa air dirancang menggunakan motor induksi satu fasa, karena harganya lebih murah.



Gambar 1. Skema pompa air tenaga surya menggunakan inverter *boost*

Motor induksi ini bekerja dengan tegangan bolak balik. Di sisi lain, panel surya menghasilkan tegangan searah. Oleh sebab itu dibutuhkan inverter yang dapat mengkonversikan tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Dalam paper ini digunakan inverter *boost* satu fasa dengan skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam skema ini, inverter *boost* dihubungkan langsung dengan panel surya. Inverter ini akan menyuplai tegangan bolak balik yang dibutuhkan motor pompa air. Agar tegangan luaran inverter *boost* tetap konstan ketika cahaya matahari bervariasi, maka tegangan luaran inverter ini dikendalikan dengan mengatur pulsa modulasi sakelar inverter. Pengaturan modulasi sakelar inverter *boost* diimplementasikan dengan

menggunakan mikrokontroler arduino uno berbasis metode SPWM.

Pompa air tenaga surya ini dirancang dengan menyimpan energi pada tanki air. Pompa akan bekerja mengalirkan air dari sumur ke tanki air dan dari tanki air inilah air didistribusikan ke tempat wudhu dan toilet yang ada di masjid tersebut. Tanki air dilengkapi dengan sakelar apung yang akan bekerja memutuskan rangkaian daya dari inverter ke motor pompa air ketika air dalam tanki dalam kondisi penuh. Begitu juga sebaliknya, sakelar akan menghubungkan inverter dengan pompa jika tanki air belum penuh. Dengan konsep ini, kondisi air pada tanki dapat dijaga agar tidak melimpah.

B. Panel Surya

Panel surya dibentuk dari sel *photovoltaic* yang dapat menghasilkan tegangan jika permukaan sel dikenai cahaya. Sel *photovoltaic* merupakan lapisan semikonduktor yang membentuk *junction p-n* [2]. Sel panel surya ini disusun dalam bentuk modul panel surya dengan kombinasi hubungan seri dan parallel. Tegangan modul panel surya dapat diperbesar dengan memperbanyak sel *photovoltaic* dalam hubungan seri. Sebaliknya, arus panel surya dapat diperbesar dengan memperbanyak sel *photovoltaic* dalam hubungan parallel. Selain struktur sel *photovoltaic*, tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya juga dipengaruhi oleh radiasi cahaya dan temperatur, yang dirumuskan dengan :

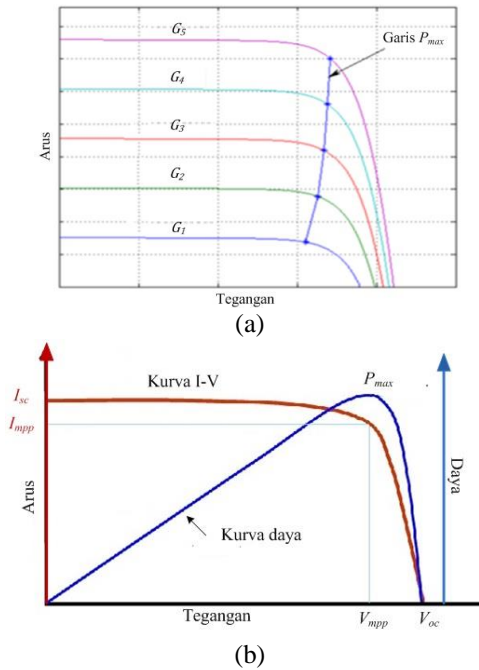
$$I_p = \left(I_{sc_s} + K_i(T - T_s) \right) \frac{G}{G_s} \tag{1}$$

$$V_{oc} = V_{oc_s} + K_v(T - T_s) \tag{2}$$

Dimana I_p dan I_{sc_s} adalah arus panel surya dan arus hubung singkat saat pengujian standar, K_i adalah konstanta arus, T dan T_s adalah temperature dan temperatur saat pengujian standar, G dan G_s adalah radiasi cahaya dan radiasi cahaya saat pengujian standar, V_{oc} dan V_{oc_s} adalah tegangan dalam rangkaian terbuka dan tegangan terbuka saat pengujian standar, sedangkan K_v adalah konstanta tegangan. Berdasarkan Persamaan (1) dan (2) dapat dilihat bahwa tegangan dan arus panel surya dipengaruhi oleh temperatur dan radiasi cahaya. Tegangan dan arus panel surya akan bervariasi sesuai dengan perubahan temperatur dan radiasi cahaya.

Karakteristik arus dan tegangan panel surya dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2(a) menunjukkan bahwa arus panel surya sebanding dengan radiasi cahaya. Ketika

tegangannya dinaikan, maka arusnya akan turun. Gambar 2(b) menunjukkan daya yang dihasilkan panel surya juga bervariasi. Daya panel surya memiliki satu titik maksimum (P_{max}) yang dapat diperoleh dengan mengendalikan tegangan pada titik V_{mpp} dan arus pada titik I_{mpp} .



Gambar 2. Karakteristik tegangan dan arus panel surya. (a) Kurva I-V dengan variasi radiasi cahaya, (b) Kurva I-V dan P-V pada suatu radiasi cahaya

C. Inverter Boost Satu Fasa

Inverter *boost* satu fasa merupakan konverter yang dapat menaikkan tegangan sekaligus juga dapat mengkonversikan tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Struktur inverter *boost* satu fasa ini merupakan gabungan dua buah konverter dc-dc *boost* yang dipasang secara berlawanan arah, dimana beban ditempatkan diantara kedua konverter tersebut [7], seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Setiap kelompok konverter dc-dc *boost* memiliki dua buah sakelar aktif, satu induktor dan satu kapasitor. Struktur converter seperti ini akan mengakibatkan arus pada beban mengalir dalam dua arah atau bolak balik, sehingga tegangan luaran inverter juga dalam kondisi bolak balik, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3(b).

Gambar 3(b) menunjukkan bahwa tegangan luaran pada konverter *boost* 1 yang dipresentasikan oleh V_1 berbeda 180 derajat dengan tegangan output pada konverter *boost* 2 (V_2). Tegangan luaran inverter *boost* pada beban merupakan selisih dari

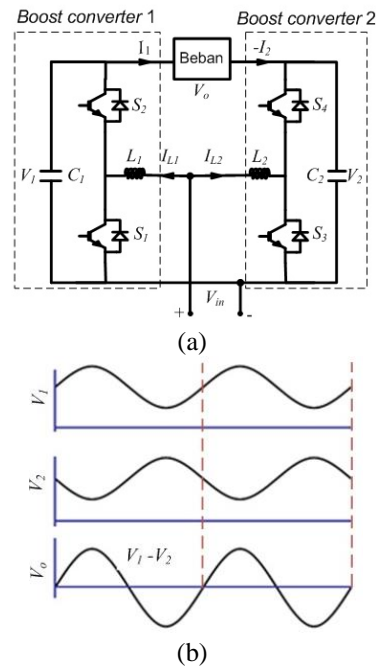
tegangan luaran konverter V_1 dengan tegangan luaran konverter V_2 . Tegangan luaran inverter *boost* dapat dirumuskan dengan :

$$V_o = V_1 - V_2 = 2 V_m \sin \omega t = \frac{V_{in}(2D-1)}{D(1-D)} \quad (3)$$

$$V_1 = V_{dc} + V_m \sin \omega t \quad (4)$$

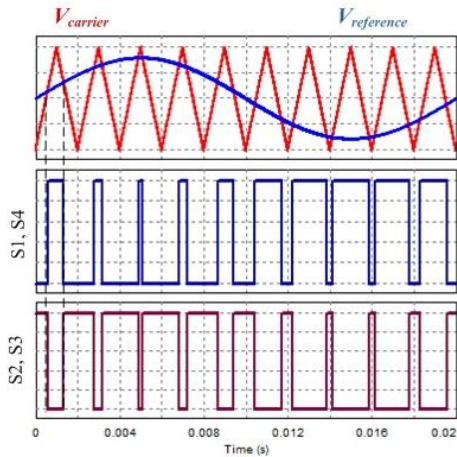
$$V_2 = V_{dc} - V_m \sin \omega t \quad (5)$$

Dimana V_m merupakan nilai maksimum tegangan bolak balik, V_{dc} adalah tegangan dc bias, V_{in} adalah tegangan masukan inverter *boost* dan D adalah *duty cycle* dari pulsa modulasi sakelar inverter *boost*. *Duty cycle* merupakan perbandingan antara waktu konduksi dengan periode *switching* sebuah sakelar. Besar kenaikan tegangan inverter *boost* ditentukan oleh nilai kapasitor dan nilai induktor masing-masing konverter dc-dc *boost* serta nilai *duty cycle* dari pulsa modulasi semikonduktor yang digunakan [6].



Gambar 3. Inverter *boost* satu fasa. (a) Skema rangkaian, (b) gelombang tegangan luaran

Dalam paper ini, nilai *duty cycle* yang terdapat dalam Persamaan (3) ditentukan dengan metode SPWM. Dalam metode ini, nilai *duty cycle* diperoleh dengan cara membandingkan nilai sinyal referensi berupa gelombang sinus dengan sinyal *carrier* berupa gelombang segitiga, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Nilai *duty cycle* ini akan menentukan waktu konduksi masing-masing sakelar inverter *boost*.



Gambar 4. Pulsa modulasi inverter *boost* dengan metode SPWM

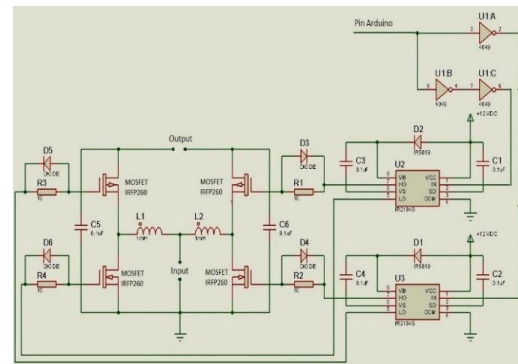
Gambar 4 menunjukkan pulsa modulasi untuk sakelar inverter *boost* dengan metode SPWM. Sakelar ini akan konduksi jika pulsa modulasinya dalam kondisi ON, begitu juga sebaliknya. Modulasi sakelar inverter *boost* ini memiliki dua status konduksi yang berlawanan, dimana status konduksi sakelar S1 berlawanan dengan sakelar S2 pada konverter dc-dc *boost* 1, tapi sama dengan sakelar S4 pada konverter dc-dc *boost* 2. Begitu juga dengan sakelar S2 pada konverter dc-dc *boost* 1 memiliki status konduksi yang sama dengan sakelar S3 pada konverter dc-dc *boost* 2. Gambar 4 menunjukkan bahwa waktu konduksi sakelar inverter *boost* ditentukan oleh sinyal referensi dari SPWM. Sinyal referensi SPWM dalam bentuk gelombang sinusoidal dapat dirumuskan dengan :

$$V_{ref} = \sqrt{2} V \sin \omega t \tag{6}$$

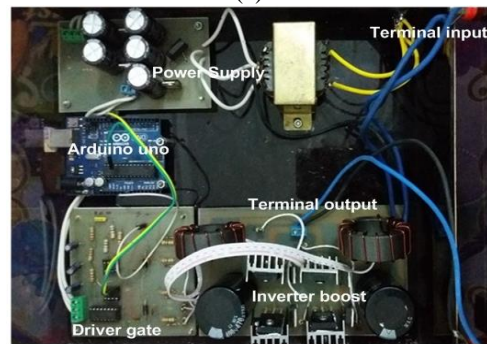
Dimana V merupakan magnitudo sinyal referensi bagi SPWM. Dalam penelitian ini, sinyal referensi SPWM diatur dalam program arduino untuk mendapatkan tegangan luaran inverter *boost* konstan 220 Volt dengan frekuensi 50 Hz. Nilai sinyal referensi ini divariasikan sesuai dengan perubahan tegangan luaran panel surya, sehingga tegangan luaran inverter tetap konstan walaupun tegangan masuknya dari panel surya bervariasi sesuai dengan perubahan temperatur dan radiasi cahaya matahari. Sinyal referensi ini dibandingkan dengan sinyal *carrier* segitiga yang memiliki frekuensi 31 kHz, yang merupakan frekuensi switching dari sakelar inverter *boost*.

Inverter *boost* diimplementasikan dengan menggunakan MOSFET IRFP260 sebagai saklar aktifnya. MOSFET ini diaktifkan dengan

rangkaian *driver* menggunakan IC IR2184S, yang berfungsi untuk menaikan tegangan luaran SPWM dari arduino sesuai dengan tegangan *gate* MOSFET. Gambar 5(a) menunjukkan skema rangkaian inverter *boost* yang terdiri dari modul arduino uno, rangkaian catu daya, rangkaian *driver gate* dan rangkaian daya inverter *boost* satu fasa. Gambar 5(b) menunjukkan implementasi hardware inverter *boost*.



(a)



(b)

Gambar 5. Rangkaian hardware inverter *boost*. (a) Skema rangkaian, (b) implementasi hardware

Gambar 5 menunjukkan bahwa rangkaian inverter *boost* ini menggunakan satu pin mikrokontroller arduino uno untuk membangkitkan sinyal SPWM yang akan memodulasi empat buah MOSFET. Pin arduino ini dihubungkan dengan dua buah IC *driver gate* IR2184S. Dalam skema ini, IC yang pertama harus memiliki pulsa PWM yang berlawanan dengan IC kedua. Setiap IC dihubungkan dengan dua buah MOSFET, dimana pin *low* yang pertama dihubungkan dengan MOSFET S1 dan pin *high*-nya dihubungkan dengan MOSFET S4. Sebaliknya, pin *high* IC kedua dihubungkan dengan *gate* MOSFET S2 pada dan pin *low*-nya dihubungkan dengan *gate* MOSFET S3.

Untuk mengaktifkan rangkaian inverter *boost* ini, dibutuhkan tegangan searah 5 volt untuk suplai arduino uno dan tegangan searah 12 volt

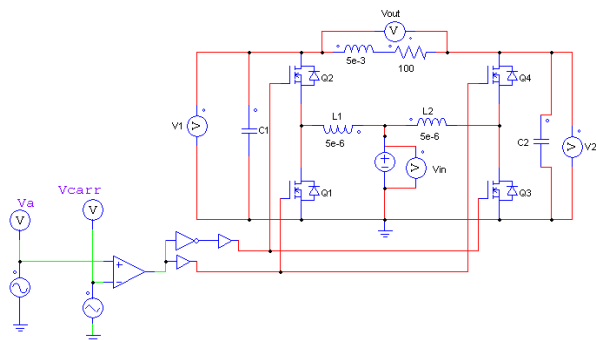
untuk suplai eksternal *driver gate*. Tegangan searah ini diperoleh dari catu daya dengan sumber tegangan bolak balik satu fasa. Untuk mendapatkan tegangan searah sesuai dengan kebutuhan, maka tegangan bolak balik ini diturunkan dengan transformator *step down*, kemudian disearahkan menggunakan dioda jembatan. Untuk menjaga kestabilan tegangan arus searah, maka digunakan IC regulator LM7805 untuk tegangan 5 volt dan IC regulator LM7812 untuk tegangan 12 volt.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan inverter *boost* satu fasa untuk pompa air tenaga surya diverifikasi melalui tiga tahap, yaitu tahap simulasi menggunakan *software* PSIM, ujicoba di laboratorium dan ujicoba di lapangan dengan sumber panel surya dan beban motor pompa air.

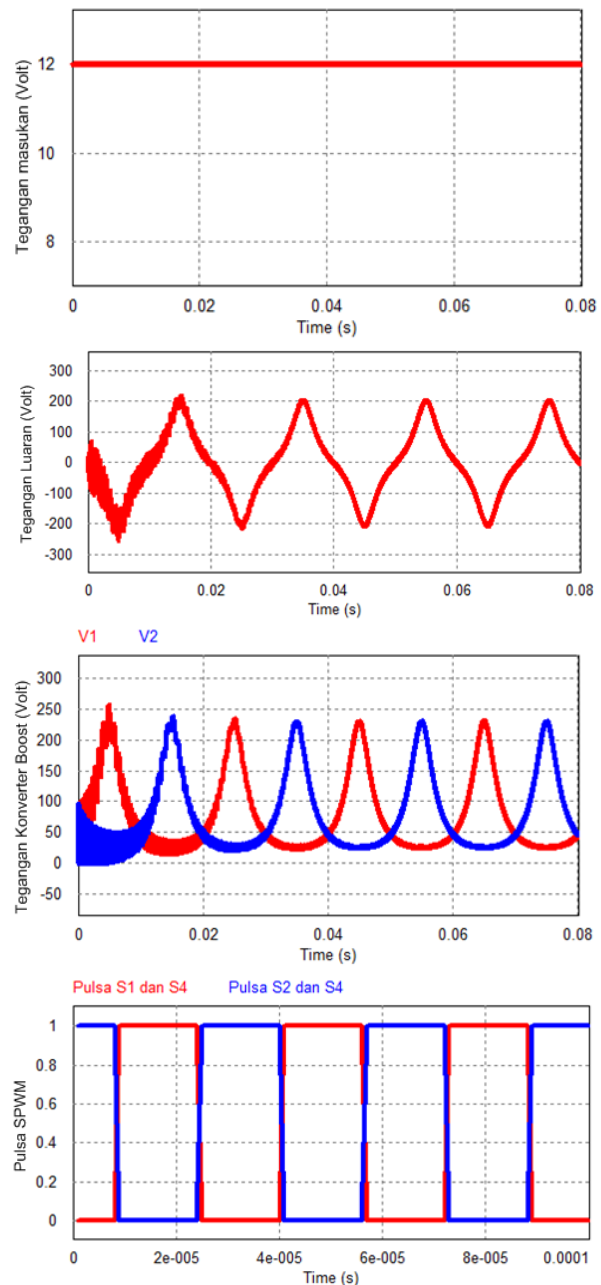
A. Hasil Simulasi

Skema simulasi inverter *boost* satu fasa dengan *software* PSIM ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Skema rangkaian inverter *boost* satu fasa dengan *software* PSIM

Rangkaian inverter *boost* ini terdiri dari dua buah konverter *boost* dc-dc yang dipasang secara berlawanan. Setiap konverter *boost* dc-dc memiliki dua buah sakelar aktif berupa IGBT, satu induktor dan satu kapasitor. Dalam simulasi ini, inverter *boost* diberi tegangan masukan sebesar 12 Volt dengan beban berupa resistor 100 Ohm dan induktor 5 mH. Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi inverter dengan PSIM. Gambar 7 menunjukkan gelombang tegangan masukan inverter *boost* berupa tegangan dc sebesar 12 Volt, gelombang tegangan luaran yang mendekati bentuk gelombang sinusoidal, gelombang tegangan konverter *boost* dc-dc pada kedua sisi inverter dan gelombang pulsa SPWM.



Gambar 7. Hasil simulasi inverter *boost* satu fasa

Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa inverter *boost* telah sukses menghasilkan tegangan bolak balik dengan bentuk gelombang mendekati sinusoidal dengan nilai rms 126 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan inverter *boost* telah valid dan sesuai dengan yang diinginkan. Validitas inverter *boost* satu fasa ini juga dapat dilihat dari bentuk gelombang kedua konverter *boost* dc-dc, dimana gelombang kedua konverter tersebut saling berlawanan, sehingga bila dibandingkan akan menghasilkan tegangan keluaran bolak balik, sesuai dengan Persamaan (3).

B. Hasil Pengujian Hardware Inverter

Tahapan selanjutnya adalah pengujian hardware inverter *boost* satu fasa di labora-torium. Parameter inverter *boost* ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter inverter *boost*

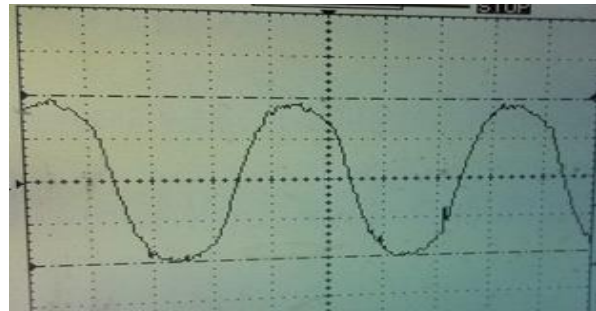
| Parameter | Nilai |
|---------------------------|-------|
| Tegangan masukan (Volt) | 12 |
| Induktor (mH) | 1 |
| Kapasitor (μ F) | 0,47 |
| Beban resistor (Ohm) | 120 |
| Frekuensi Switching (KHz) | 31 |
| Frekuensi luaran (Hz) | 50 |

Inverter *boost* satu fasa yang telah dirakit seperti Gambar 5 diuji dengan tegangan masukan 12 Volt dari baterai dan luaran berupa beban resistor 120 Ohm. Pengamatan dilakukan menggunakan osiloskop analog dengan hasil seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.

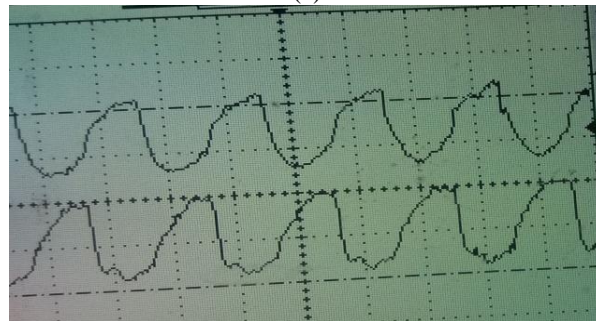
Gambar 8(a) menunjukkan bentuk gelombang tegangan luaran inverter yang sinusoidal dengan nilai rms 140 Volt. Hasil ini menunjukkan bahwa inverter telah sukses mengkonversikan tegangan searah masukan menjadi tegangan bolak balik dengan nilai luarannya lebih besar dari masukan, sehingga dapat disimpulkan bahwa inverter *boost* telah bekerja sesuai dengan fungsinya, yaitu mengkon-versikan tegangan searah menjadi tegangan bolak balik sekaligus menaikkan tegangan luaran. Hasil yang bagus ini tidak terlepas dari kinerja kedua konverter *boost* dc-dc yang membentuk inverter. Hal ini dapat dilihat dari gelombang tegangan kedua konverter *boost* dc-dc, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8(b). Gelombang kedua konverter terlihat saling berlawanan, sehingga bila dibandingkan akan menghasilkan tegangan keluaran bolak balik, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8(a). Kinerja kedua konverter *boost* dc-dc ini tidak terlepas dari validnya modulasi sakelar konverter menggunakan SPWM. Hal itu dapat dilihat dari pulsa PWM yang dihasilkan arduino pada luaran *driver gate* MOSFET, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8(c).

C. Hasil Pengujian di Lapangan

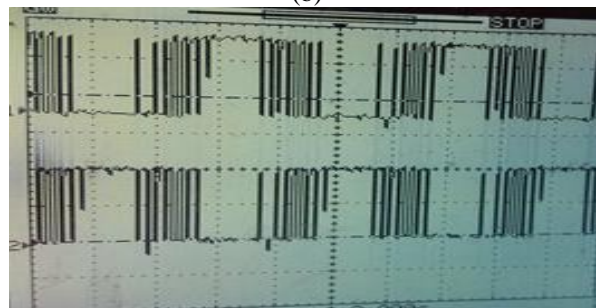
Setelah hasil pengujian inverter *boost* satu fasa di laboratorium dinyatakan baik dan layak untuk diterapkan di lapangan, maka selanjutnya dilakukan pengujian inverter *boost* untuk pompa air otomatis tenaga surya di lapangan. Dalam pengujian ini, inverter *boost* ini akan disuplai oleh panel surya 300 wp yang ditem-patkan di atas atap, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9.



(a)

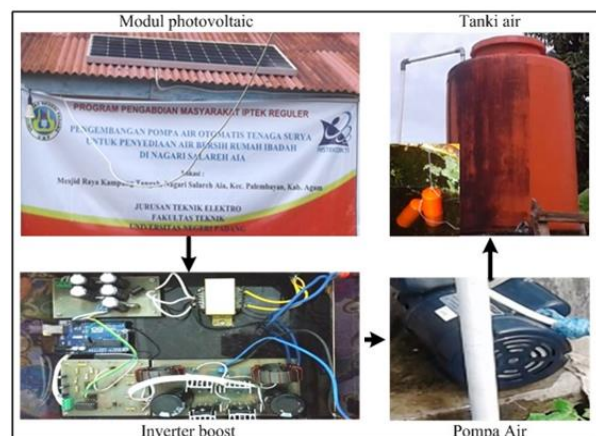


(b)



(c)

Gambar 8. Hasil pengujian hardware inverter *boost*. (a) tegangan luaran, (b) tegangan konverter *boost* dc-dc, dan (c) pulsa PWM



Gambar 9. Skema pompa air tenaga surya menggunakan inverter *boost* satu fasa

Dalam pengujian ini, inverter akan melayani pompa air yang ditempatkan pada pinggir sumur,

dimana pompa air ini akan memompa-kan air dari sumur ke tanki air yang sudah dilengkapi dengan sakelar apung untuk otomasi pengisian air pada tanki. Pompa air ini digerakan oleh motor induksi kapasitor satu fasa 125 Watt, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Tabel 2 menguraikan parameter komponen yang digunakan dalam pengujian ini.

Tabel 2. Parameter Pengujian di lapangan

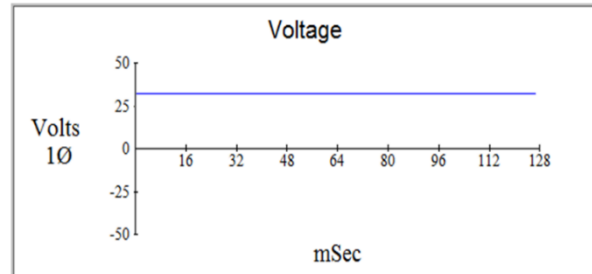
| Komponen | Parameter | Nilai |
|---------------------|-----------------------|------------|
| Panel surya | P_{max} (Watt-Peak) | 300 |
| | V_{mpp} (Volt) | 37 |
| | I_{mpp} (Ampere) | 8,4 |
| | V_{oc} (Volt) | 45 |
| | I_{sc} (Ampere) | 8,8 |
| | Jumlah cell | 72 |
| | Pompa air | P (Watt) |
| V (Volt) | | 220 |
| I (Ampere) | | 1,3 |
| Debit (liter/menit) | | 18 |
| Head max (meter) | | 20 |
| Pipa hisap (mm) | | 25 |
| Pipa dorong (mm) | | 25 |
| Frekuensi (Hz) | | 50 |
| Tanki air | Isi (liter) | 1000 |

Dalam pengujian di lapangan ini digunakan alat ukur *Power Harmonic Analyzer Fluke 41* untuk pengambilan data. Gambar 10 menunjukkan tegangan luaran panel surya yang diukur pada pukul 11.00 WIB selama 128 milidetik. Pada waktu tersebut tersebut panel surya menghasilkan tegangan sebesar 34 Volt.

Gambar 11 menunjukkan hasil pengukuran inverter *boost* satu fasa ketika inverter tersebut diberi sumber panel surya dengan beban motor pompa air. Gambar 11(a) menunjukkan bahwa tegangan luaran inverter *boost* satu fasa berbentuk sinusoidal dengan nilai rms 222 volt. Hal ini menunjukkan bahwa dengan tegangan masukan 34 Volt dari panel surya sudah mampu menghasilkan tegangan luaran sebesar 222 volt pada inverter *boost* satu fasa. Nilai tegangan yang dihasilkan inverter ini sesuai dengan nominal tegangan motor pompa air.

Kualitas tegangan yang dihasilkan inverter *boost* satu fasa ini juga sudah memenuhi standar kualitas daya, dimana *Total Harmonic Distortion* (THD) tegangan hanya 0.51%, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 11(c). Gelombang arus inverter *boost* satu fasa juga sudah mendekati bentuk sinusoidal, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 11(b). Pada saat melayani beban motor pompa air, inverter *boost* mengalirkan arus

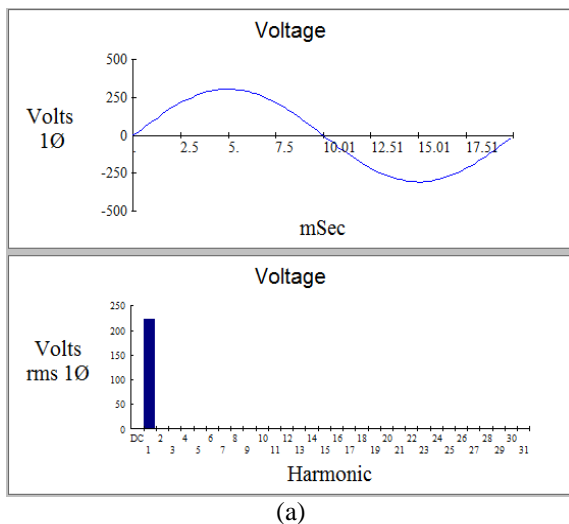
sebesar 0.89 Ampere dengan THD sebesar 22.35%, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 11(c). Hasil ini menunjukkan bahwa inverter *boost* satu fasa yang diusulkan dalam penelitian ini telah sukses menyalurkan daya untuk pompa air sesuai rating yang dibutuhkan motor pompa air dengan sumber daya dari panel surya 300 WP.



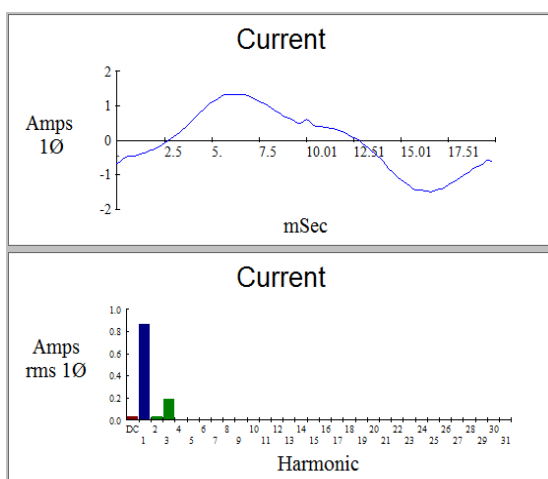
Gambar 10. Tegangan luaran panel surya

Ringkasan hasil pengukuran inverter *boost* satu fasa dapat dilihat dalam Gambar 11(c). Saat melayani pompa air, inverter menyalurkan daya sebesar 153 watt dengan faktor daya 0.78, rms tegangan 222 volt dan frekuensi 49.97 Hz. Nilai ini sudah sesuai dengan rating motor pompa air, sehingga dapat disimpulkan bahwa inverter yang dirancang telah bekerja dengan baik untuk melayani motor pompa air. Inverter *boost* telah sukses menaikkan sekaligus mengkonversikan tegangan searah yang dihasilkan panel surya menjadi tegangan bolak balik sesuai dengan kebutuhan motor pompa air. Selain tegangan, inverter *boost* juga telah dapat menghasilkan frekuensi sesuai dengan rating frekuensi yang dibutuhkan motor pompa air, yaitu 50 Hz.

Penggunaan sakelar apung yang dipasang dalam tanki air juga telah sukses mengendalikan *on/off* motor pompa air, sehingga penyaluran air ke dalam tanki dapat dikendalikan. Pompa air akan hidup ketika tanki belum terisi penuh atau pada saat sinker sakelar apung masih menggantung, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 12(a). Sebaliknya, motor pompa air akan berhenti bekerja atau dalam kondisi *off* ketika tanki air sudah penuh atau sinker sakelar apung sudah mengambang di atas permukaan air, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 12(c). Hal ini menunjukkan bahwa otomasi pompa air tenaga surya yang dirancang menggunakan sakelar apung juga sudah bekerja sesuai dengan fungsinya.



(a)



(b)

| Single Phase Readings | | | | |
|-----------------------|---------|-----------|---------|-------|
| Summary Information | | Voltage | Current | |
| Frequency | 49.97 | RMS | 222.0 | 0.89 |
| Power | | Peak | 314.3 | 1.45 |
| Watts | 153.00 | DC Offset | -0.2 | -0.03 |
| VA | 197.00 | Crest | 1.42 | 1.63 |
| Vars | 116.00 | THD Rms | 0.51 | 21.81 |
| Peak W | 443.00 | THD Fund | 0.51 | 22.35 |
| Phase | 37° lag | HRMS | 1.1 | 0.19 |
| Total PF | 0.78 | KFactor | | 1.65 |
| DPF | 0.80 | | | |

(c)

Gambar 11. Hasil pengukuran inverter *boost* satu fasa. (a) tegangan luaran inverter, (b) Arus luaran inverter dan (c) resume hasil pengukuran



Gambar 12. Kondisi air pada tanki

Sehingga secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa rancangan pompa air otomatis tenaga surya menggunakan inverter *boost* satu fasa telah bekerja dengan baik sesuai dengan harapan.

IV. KESIMPULAN

Dalam paper ini diusulkan pompa air otomatis tenaga surya menggunakan inverter *boost* satu fasa. Inverter dirancang untuk menaikkan tegangan sekaligus mengkonversikan tegangan searah panel surya menjadi tegangan bolak sesuai dengan kebutuhan motor pompa air. Otomasi pompa air dirancang menggunakan sakelar apung yang dipasang dalam tanki air. Pompa air otomatis tenaga surya ini diimplementasikan langsung di lapangan untuk penyediaan air bersih di rumah ibadah. Hasil pengujian di lapangan menunjukkan bahwa pompa air otomatis tenaga surya yang diusulkan menggunakan inverter *boost* satu fasa telah bekerja dengan baik sesuai dengan tujuan. Inverter *boost* telah sukses menaikkan sekaligus mengkonversikan tegangan searah yang dihasilkan panel surya menjadi tegangan bolak balik sesuai dengan yang dibutuhkan motor. Sakelar apung juga telah sukses mengendalikan pengisian tanki air melalui pengaturan *on/off* motor pompa, sehingga air dalam tanki dapat diatur tidak melimpah keluar.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Caracas, M. J. V.D., Farias, C. G., Teixeira, M. L. F. and Ribeiro, D. S. L. (2014). Implementation of a High-Efficiency, High-Lifetime, and Low-Cost Converter for an Autonomous Photovoltaic Water Pumping

- System. IEEE Trans on Industry Applications. 50(1). 631–641.
- [2] Carvalho, P. C. M., Carvalho, L. A. D., Oliveira, R. S. H. and Hiluy Filho, J.J. (2013). Feasibility study of photovoltaic powered reverse osmosis and pumping plant configurations. IET Renewable Power Generation, 7(2). 134-143.
- [3] Rathore, P. K. S., Das, S. S. and Chauhan, D. S. (2018). Perspectives of solar photovoltaic water pumping for irrigation in India. Energy Strategy Reviews. 22. 385–395.
- [4] Das M. and Mandal, R. (2018). A comparative performance analysis of direct, with battery, supercapacitor, and battery-supercapacitor enabled photovoltaic water pumping systems using centrifugal pump. Solar Energy. 171. 302–309.
- [5] Saodah, S. dan Utami, S. (2019). Perancangan Sistem grid tie inverter pada pembangkit listrik tenaga surya. Elkonnika. 7(2). 339–350.
- [6] Abramovitz, A., Zhao, B. and Smedley, K. (2016). High gain single stage boosting inverter for photovoltaic applications. IEEE Transactions on Power Electronics. 31(5). 3550-3558.
- [7] Yuhendri, M., Aslimeri and Muskhir, M. (2018). Optimum Torque Control of Stand Alone Wind Turbine Generator System Fed Single Phase Boost Inverter. Prosiding ICONEEI. 148-153.
- [8] Chakraborty, S., Hasan, M. M. and Abdur Razzak, M. (2017). Transformer-less single-phase grid-tie photovoltaic inverter topologies for residential application with various filter circuits. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 72. 1152–1166.
- [9] Juniyanto, D., Andrasto, T. dan Suryono. (2018). Optimalisasi stand alone photovoltaic system dengan implementasi algoritma P&O-fuzzy MPPT. Jurnal Teknik Elektro 10(1). 1–10.
- [10] Benganem, M., Daffallah, K. O. and Almohammed, A. (2018). Estimation of daily flow rate of photovoltaic water pumping systems using solar radiation data. Results in Physics. 8. 949–954.
- [11] Moraka, O. J., Barendse P.S. and Khan, M.A. (2017). Dead time effect on the double loop control strategy for a boost inverter. IEEE Trans on Industry Appl. 53(1). 319-326.
- [12] Li, G., Jin, Y., Akram, M. W. and Chen, X. (2017). Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 440–458
- [13] Al-Badi, A., Yousef, A., Al Mahmoudi, T., Al-Shammaki, M., Al-Abri, A. and Al-Hinai, A. (2017). Sizing and modelling of photovoltaic water pumping system. International Journal of Sustainable Energy. 36(1). 1-13.
- [14] Zauouche, F., Mokrani Z. and Rekioua, D. (2016). Control and energy management of photovoltaic pumping system with battery storage. Prosiding International Renewable and Sustainable Energy Conference. 917 – 922.
- [15] Sontake, V.C. and Kalamkar, V.R. (2016). Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 59.1038–1067.
- [16] Das, M., Mukherjee, D. and Ranjan Bhadra Chaudhuri, S. (2017). An approach to study the performance of photovoltaic water pumping using supercapacitor. Materials Today: Proceedings. 4(9). 10400–10406.

Biodata Penulis

Muldi Yuhendri, lahir di Kampung Aur, Agam pada tahun 1981. Memperoleh gelar Sarjana Pendidikan di jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang pada tahun 2005. Meraih gelar Magister Teknik dan Doktor di jurusan Teknik Elektro ITS Surabaya pada tahun 2009 dan 2017 berturut-turut. Bekerja di jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang semenjak 2006 sampai sekarang. Bidang keahlian yang ditekuni adalah energi terbarukan, elektronika daya dan pengemudian elektrik.

Aswardi, lahir di Agam, Sumatera Barat tahun 1959. Meraih gelar sarjana tahun 1983 di jurusan teknik elektro Universitas Negeri Padang. Menyelesaikan program Magister Teknik pada tahun 1999 di ITB Bandung dalam bidang teknik Elektro. Bekerja sebagai dosen di jurusan Teknik Elektro UNP semenjak tahun 1985 sampai sekarang. Bidang keahlian yang ditekuni adalah elektronika daya dan mesin listrik.

Ahyanuardi, lahir di Padang, Sumatera Barat pada tahun 1959. Padang, West Sumatera, Indonesia in 1959. Menyelesaikan program Sarjana di jurusan Teknik Elektro FT UNP pada tahun 1983. Memperoleh gelar Magister Teknik di jurusan Teknik Elektro ITB pada tahun 1999 dan gelar Doktor di Universitas Negeri Yogyakarta pada tahun 2016 dalam konsentrasi Pendidikan Teknologi Kejuruan. Bekerja sebagai dosen di jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang semenjak 1985. Bidang keahlian yang ditekuni mencakup pendidikan teknologi kejuruan dan mesin listrik.