

RANCANG BANGUN KENDALI SISTEM INVERTER *SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION* (SPWM) FREKUENSI 25 Hz DAN 50Hz BERBASIS SENSOR KELEMBAPAN TANAH MENGGUNAKAN ARDUINO UNO R3

Riski Kurniawan¹⁾, Antonius Rajagukguk²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

E-mail : riski.kurniawan@student.unri.ac.id

ABSTRACT

This study aims to create a two-frequency inverter control system, which works based on changes in the value of the soil moisture sensor, as a motor control for automatic plant sprinklers. In this study, the inverter is designed using the Sinusoidal pulse width modulation (SPWM) method, by amplifying the SPWM signal using IC IR2110, so that it is able to run the switching process in the h-bridge inverter circuit, the inverter voltage is increased with a step-up transformer and filtered using a low pass filter. The inverter output frequency is determined based on the YL-69 sensor value, with a control system based on Arduino uno. Based on the results of testing the inverter prototype, in wet soil moisture conditions with a percentage of less than 25%, the inverter is in standby mode, at the moisture content of the moist soil with a percentage between 25-40%, the inverter produces a frequency of 24,61 Hz, while the moisture content is 24,61 Hz. dry soil with a percentage of more than 40%, the inverter produces a frequency of 48,83 Hz. Based on the results of the prototype testing, it can be applied to coaching a single-phase induction motor type water pump in automatic plant sprinklers.

Keywords: SPWM, IC 2110, H-bridge inverter, sensor YL-69, low pass filter

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat membuat manusia berinovasi menemukan hal-hal baru khususnya dibidang kelistrikan, salah satunya adalah teknologi inverter. Inverter merupakan sebuah perangkat elektronik yang berfungsi mengkonversi listrik *Direct Current* (DC) menjadi *Alternate Current* (AC) dengan tegangan dan frekuensi keluaran diatur sesuai dengan kecepatan yang diinginkan, sehingga motor induksi dapat dikendalikan dengan fleksibel. "Saat ini inverter mulai sering digunakan sebagai pengendalian kecepatan dan *starting* motor induksi" (Hartono.2017).

Pensaklaran inverter umumnya banyak ditemukan dengan metode *switching Pulse-width modulation* (PWM). inverter dengan *switching PWM* digunakan pada aplikasi *Variable Speed Drive* (VSD), *Power Converter* dan *Uninterruptible Power Supply* (UPS). "Sebagian besar UPS yang tersedia secara komersial merupakan *square wave inverter* atau *quasi sine wave inverter* yang mempunyai konten harmonik tinggi," (Muttaqin. 2016)

Teknik pensaklaran terus berkembang hingga saat ini, salah satunya teknik pensaklaran yang ditawarkan untuk mereduksi tingkat harmonik yang tinggi umumnya digunakan adalah *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM), "Pensaklaran dengan metode SPWM memiliki karakteristik dengan *duty cycle* pulsa meningkat secara gradual dan kemudian menurun secara gradual dalam

deretan pulsa yang membentuk pola gelombang sinus," (Muttaqin. 2016)

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti tertarik untuk mengembangkan teknologi inverter dengan judul "Rancang Bangun Kendali Sistem Inverter *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) Frekuensi 25 Hz dan 50 Hz Berdasarkan Sensor Kelembapan Tanah Menggunakan Arduino Uno R3". Adapun hasil rancangan mampu mengendalikan frekuensi keluaran inverter berdasarkan perubahan nilai sensor kelembapan tanah, sebagai pengendali motor pompa penyiram tanaman secara otomatis.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Sensor Kelembaban Tanah (*Soil Moisture*)

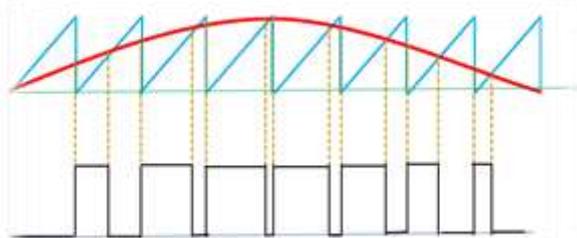
Soil moisture sensor adalah sebuah alat yang dapat mendeteksi kadar kelembaban pada tanah. Sensor ini bekerja dengan konsep yang sederhana, yaitu dengan menggunakan dua *probe* yang ditancapkan di dalam tanah. *Probe* ini berfungsi untuk melewatkan arus listrik melalui tanah, kemudian membaca resistansinya untuk mendapatkan nilai tingkat kelembaban tanah tersebut. Semakin banyak kadar air yang dimiliki pada tanah maka nilai resistansi pada tanah semakin kecil dan akan mengakibatkan tanah lebih mudah menghantarkan listrik, sedangkan tanah kering memiliki nilai resistansi yang besar (Asniati, 2017).

2.2 Inverter

Inverter berfungsi untuk mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik dengan besar tegangan dan frekuensi sesuai dengan yang diinginkan. Sumber tegangan input inverter bisa berupa baterai, PV, *accumulator*/aki dan sumber tegangan DC lainnya. Inverter yang terbaik adalah yang mampu menghasilkan gelombang sinusoidal murni yaitu bentuk gelombang yang sama dengan bentuk jaringan listrik (*grid utility*). Inverter dimanfaatkan sebagai penyedia listrik alternatif baik dibidang rumah tangga, perkebunan, pertanian, industri, bahkan di kendaraan-kendaraan listrik. Inverter sendiri memiliki beberapa jenis gelombang keluaran yaitu: *square wave* (gelombang persegi), *modified sine wave* (gelombang sinus modifikasi), *pure sine wave* (gelombang sinus murni) (Biswas2018).

2.3 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

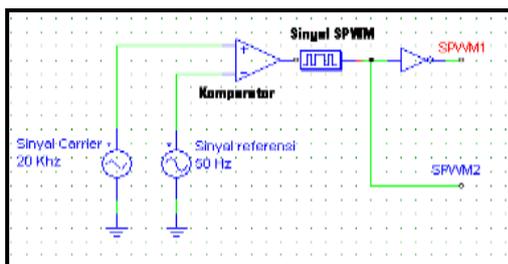
Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) merupakan suatu teknik memanipulasi lebar pulsa dengan cara membandingkan dua buah sinyal yang berbeda, yaitu sinyal referensi (sinyal sinusoidal) dan sinyal *carrier* (sinyal gergaji). Dengan demikian didapatkan sebuah lebar pulsa yang bervariasi sehingga harmonisnya bisa diminimalisir bahkan dihilangkan. SPWM dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsep Dasar SPWM (Azmi,2017)

Pada Gambar 1 dapat dijelaskan bahwa gelombang merah adalah gelombang sinyal referensi (sinusoidal) dan gelombang dengan warna biru adalah gelombang sinyal *carrier* (gergaji) yang dibandingkan. Sinyal warna hitam adalah sinyal hasil perpotongan dari sinyal referensi dan *carrier* ketika proses *switching* dimana S1 *on* dan S2 *off* atau S1 *off* dan S2 *on*.

Pembangkitan sinyal SPWM dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara analog dan secara digital adapun teknik memanipulasi lebar pulsa secara analog dengan membangkitkan gelombang referensi (berupa gelombang sinusoidal) dan gelombang *carrier* (berupa gelombang segitiga) secara terpisah. (Azmi,2017)



Gambar 2. Metode SPWM dengan Metode Analog. (Azmi, 2017)

Adapun pembangkitan gelombang SPWM secara digital dapat dilakukan dengan bantuan mikrokontroler, dengan menggunakan beberapa baris *coding* (*source code*) untuk membangkitkan gelombang SPWM, tanpa perlu membangkitkan dua sinyal *carrier* dan sinyal referensi, seperti halnya pada metode secara analog. Dalam metode secara digital, pembangkitan sinyal SPWM dengan bantuan mikrokontroler pada dasarnya membuat setengah periode gelombang sinus menjadi beberapa gelombang pulsa dengan masing-masing variasi *duty cycle* berbeda-beda yang mengikuti besar dari tegangan gelombang sinus, contohnya seperti gelombang sinus, tegangan minimum sampai ke maksimumnya dari 0° – 90° dan turun lagi dari 90° – 0° dengan begitu membentuk pola gelombang sinus. (Azmi,2017)

Berikut ini adalah algoritma dalam membangkitkan gelombang SPWM dengan menggunakan bantuan mikrokontroler jenis Arduino:

1. Menentukan besarnya frekuensi dan periode dari gelombang referensi (gelombang sinus) sesuai dengan yang diinginkan, dapat ditentukan dengan mengatur periode gelombang keluaran, seperti pada persamaan 1.

$$T = \frac{1}{f} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :
f = Frekuensi (Hz);
T = Periode (ms);

2. Menentukan periode pada setiap pulsa SPWM yang menjadi bagian dari gelombang sinus, yaitu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$f_{switching} = f \times n_{PWM} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :
f = Frekuensi Sinus (Hz);
n_{PWM} = jumlah pulsa PWM;

3. Membuat *look Up Table Array* dengan rumus *duty cycle* bertingkat-tingkat dari *duty cycle* pesen rendah sampai *duty cycle* tertinggi hingga turun kembali membentuk pola sinusoidal setengah gelombang (0°-180°) dengan menggunakan persamaan 3. berikut:

$$DutyCycle = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:
t_{on} = Durasi waktu on (s)
t_{off} = Durasi waktu off (s)

4. Penentuan pin SPWM pada mikrokontroler arduino uno Untuk membuat pola pensaklaran unipolar SPWM.

2.4 Filter

Filter diperlukan inverter untuk menghasilkan bentuk gelombang keluaran yang mirip sinusoidal murni.

Filter merupakan rangkaian elektronika yang terdiri dari sebuah induktor (L) dan sebuah kapasitor (C) yang dihubungkan secara bersama. LC Filter ini biasanya digunakan untuk beberapa buah pengaplikasian yaitu seperti untuk membangkitkan sebuah sinyal dengan frekuensi tertentu, atau dapat juga berfungsi seperti *band pass filter*, yaitu melewatkan sebuah frekuensi dengan *range* tertentu dan memblokir frekuensi yang diluar *range* tersebut. (Azmi 2017).

Untuk menentukan nilai komponen filter dapat dilakukan dengan menetapkan salah satu nilai L atau C, jika nilai C ditetapkan maka nilai induktor dapat ditentukan, begitupun jika L yang ditetapkan maka nilai C dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 4 berikut:

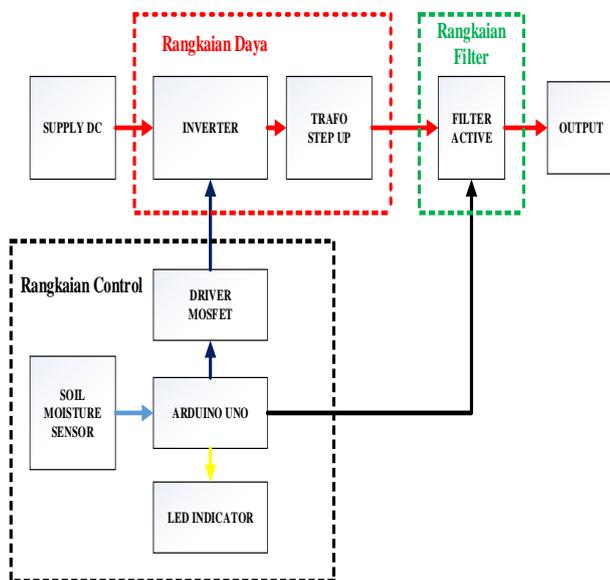
$$f_{cut\ off} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan;

- $f = f_{cut\ off}$ (Hz);
- C = kapasitor (F);
- L = Induktor (H);

III. METODE PENELITIAN

3.1 Blok Diagram



Gambar 3. Blok Diagram Kendali Sistem Inverter

Tahapan awal dalam merancang prototipe kendali sistem inverter adalah pemilihan komponen sebagai dasar

perancangan sistem inverter, adapun komponen yang dirancang meliputi perangkat kontrol, *driver* MOSFET, sensor kelembaban tanah, trafo *step up*, serta komponen filter LC.

3.2 Perancangan Rangkaian Kendali Inverter

Tahapan pada sub bab ini membahas tentang perancangan rangkaian kendali inverter yang meliputi, pembangkitan sinyal *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM), perancangan *driver* MOSFET, perancangan mekanisme sensor kelembaban tanah, penggunaan lampu indikator, dan perancangan mekanisme sistem kendali inverter.

3.2.1 Pembangkitan Sinyal *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM)

Metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) secara digital memiliki banyak cara dalam pembangkitan nya. Pada penelitian ini digunakan metode membuat *look up tabel* atau kumpulan dari nilai-nilai data waktu *on* dan *off*, dalam bentuk *array* dalam satuan μS . Inverter yang dirancang dengan dua frekuensi, yakni 25 Hz dan 50 Hz sehingga menghasilkan dua sinyal SPWM. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan dalam teknik pembangkitan sinyal SPWM dengan *microcontroller* Arduino pada frekuensi 50 Hz.

1. Menentukan frekuensi dan periode gelombang keluaran inverter. Frekuensi inverter yang diinginkan sebesar 50 Hz maka periodenya dapat diketahui dengan persamaan 1 berikut:

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

$$T = 0,02\ s$$

2. Menentukan periode pada setiap pulsa PWM, pada penelitian ini jumlah PWM yang digunakan untuk membentuk pola sinusoidal 50 Hz diasumsikan sebanyak 20 PWM dan untuk periode per pulsa PWMnya dapat diperoleh dengan persamaan 2 dan persamaan 1 berikut:

$$f_{switching} = 50\ Hz \times 20\ pwm$$

$$f_{switching} = 1000\ Hz$$

$$T = 0,001\ s = 1000\ \mu S$$

3. Membuat *look Up Table Array* dengan *duty cycle* membentuk pola sinusoidal setengah gelombang ($0^\circ - 180^\circ$), yaitu seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1 untuk SPWM 25 Hz dan Tabel 2 untuk SPWM 50 Hz. Tabel dihitung dengan persamaan 3.

Tabel 1. Look Up Table Array SPWM 25 Hz Setengah Gelombang (0°-180°)

T per pulsa (μS)	Duty Cycle (%)	T ON (μS)	T OFF (μS)
2000	20	400	1600
2000	40	800	1200
2000	60	1200	800
2000	80	1600	400
2000	100	2000	0
2000	100	2000	0
2000	80	1600	400
2000	60	1200	800
2000	40	800	1200
2000	20	400	1600

Selanjutnya pembuatan look Up Table Array dengan duty cycle membentuk pola sinusoidal setengah gelombang (0°-180°) pada frekuensi 25 Hz, yaitu seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

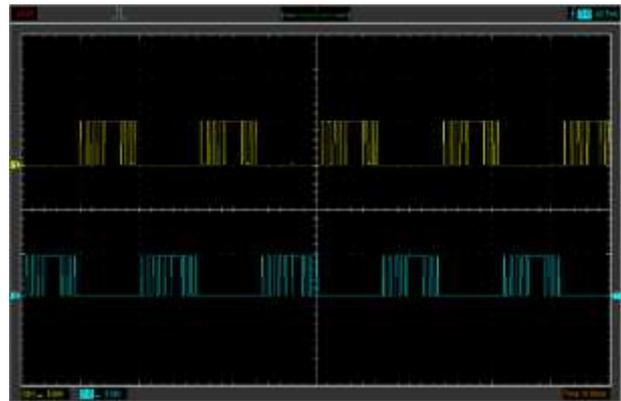
Tabel 2. Look Up Table Array SPWM 50 Hz Setengah Gelombang (0°-180°)

4. Penentuan pin SPWM pada mikrokontroler Arduino uno. Untuk membuat pola pensaklaran unipolar sinyal SPWM, peneliti menggunakan fitur PWM Arduino yang terdapat pada pin 9 dan pin 10, yaitu pada pin 9 diprogram untuk menjalankan look up table Array gelombang SPWM pada siklus positif, dan bergantian setelah selesai berpindah ke pin 10 untuk menjalankan SPWM siklus negatif, dan terus berulang-ulang bergantian.

Setelah algoritma pembangkitan SPWM secara digital selesai, selanjutnya adalah menerapkan algoritma SPWM ke dalam microcontroller Arduino dengan menterjemahkan algoritma tersebut ke dalam source code program Arduino dengan menggunakan software Arduino IDE. Berikut ini adalah pengujian gelombang SPWM

T per pulsa (μS)	Duty Cycle (%)	T ON (μS)	T OFF (μS)
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

pada frekuensi 50 Hz diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Pembangkitan SPWM 50 Hz Dengan Arduino

Berdasarkan hasil pengukuran pada Gambar 3.10. bahwa gelombang telah sesuai dengan rancangan awal, dan terlihat dua gelombang yang berwarna kuning adalah gelombang switching siklus positif, sedangkan untuk gelombang yang berwarna biru adalah gelombang switching siklus negatifnya, kedua sinyal tersebut muncul secara bergantian.

3.2.2 Penggunaan Driver MOSFET

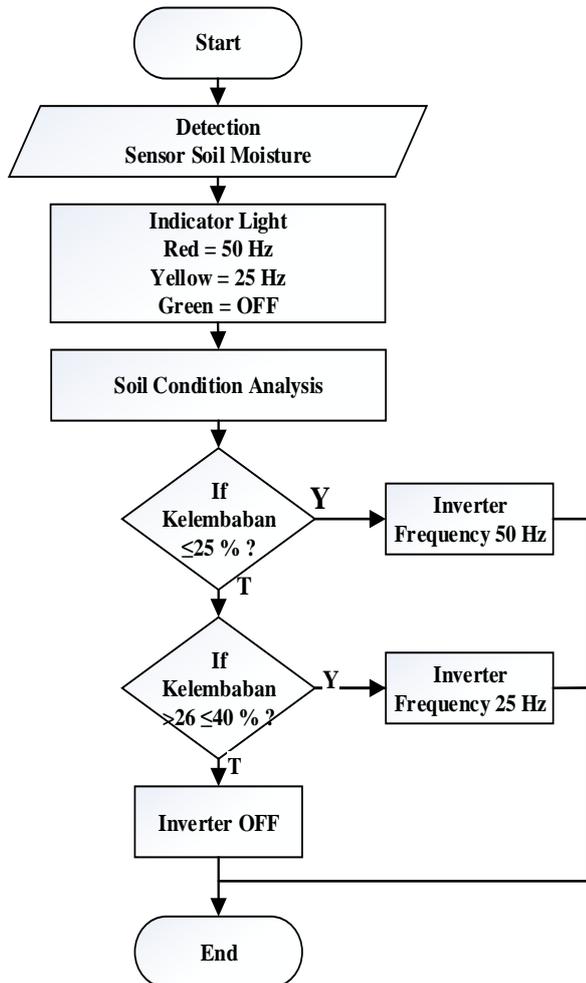
Driver MOSFET yang digunakan adalah IC IR2110. Dalam pengoperasian IC ini membutuhkan rangkaian sistem minimum agar pin HO dapat bekerja, dimana sistem minimum dari IC ini membutuhkan kapasitor coupling atau komponen bootstrap sebagai supply, sehingga IC IR2110 dapat menjalankan fungsinya. Adapun diode yang digunakan adalah diode dengan tipe 1N4001. Selanjutnya menentukan nilai kapasitor bootstrap pada rangkaian sistem minimum, yaitu dapat dihitung menggunakan persamaan yang terdapat pada Application Note AN-978 yang terdapat pada datasheet IR2110. Maka diperoleh nilai kapasitor yang digunakan sebesar 22μF dengan tegangan 16 volt.

3.2.3 Mekanisme Sensor Kelembapan Tanah

Sensor kelembapan yang digunakan adalah sensor kelembapan tanah dengan type YL-69. Keluaran sensor kelembapan tanah terdiri dari sinyal analog dan sinyal digital, namun pada penelitian ini digunakan keluaran sinyal analog yang dihubungkan pada port A0 microcontroller Arduino. Adapun nilai yang diperoleh dari data analog berupa nilai ADC yaitu 0-1023, nilai tersebut akan diubah dalam bentuk persentase kelembapan 0-100%. Dengan persentase kurang dari 25% merupakan tanah kering, persentase diantara 25-40% merupakan tanah lembab, dan persentase lebih dari 40-100% adalah tanah dalam keadaan basah.

3.2.4 Perancangan Algoritma Sistem

Perancangan algoritma dari kinerja sistem kendali inverter diilustrasikan dengan *flowchat* sistem yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchat Kinerja Alat Kendali Sistem Inverter

3.3 Perancangan Rangkaian Daya Inverter

Adapun perancangan rangkaian daya inverter yang akan dibahas adalah perancangan rangkaian *h-bridge* dan perancangan kapasitas transformator daya. Berikut adalah penjelasan dari perancangan rangkaian daya inverter.

3.3.1 Rangkaian H-Bridge inverter

Pada penelitian ini inverter didesain dengan topologi *H-bridge*. Topologi ini merupakan salah satu topologi yang digunakan untuk merekayasa gelombang sumber listrik DC (searah) menjadi listrik AC (bolak-balik). MOSFET yang digunakan harus mampu mengalirkan arus beban sebesar 25 A dengan tegangan sebesar 12 V. Oleh karena itu, peneliti memanfaatkan stok komponen MOSFET yang tersedia, yaitu MOSFET dengan type RU4099R jenis *enhancement* kanal-N dengan kapasistas arus maksimum 200 A dan tegangan operasi maksimum sebesar 40 V.

3.3.2 Transformator Daya

Trasnformator atau trafo daya yang digunakan pada penelitian adalah trafo *step up*, trafo ini berfungsi untuk menaikkan tegangan keluaran dari *h-bridge* inverter sebesar 12 V ke level tegangan 220 V sesuai dengan tegangan beban. Trafo ini harus mampu menyalurkan daya sebesar 300 W dan arus yang harus dilewatkan sebesar 25 A, oleh karena itu penulis memanfaatkan transformator yang tersedia dengan kapasitas 10 A dengan memparalelkan sebanyak 3 (tiga) unit maka kapasitas trafo menjadi sebesar 30 A, maka kapasitas trafo menjadi 360 W, mengingat trafo yang digunakan adalah transformator inti besi maka penulis memberikan *spare* sebesar 5 A ada sisa 5 A untuk efisiensi trafo.

3.4 Perancangan Filter LC

Rangkaian filter LC berfungsi untuk memfilter atau berfungsi sebagai elemen perata gelombang keluaran dari inverter yang berbentuk gelombang SPWM. Filter ini dirancang untuk beroperasi pada dua frekuensi 50Hz dan 25Hz. Rangkaian ini terdiri dari induktor dan kapasitor yang tersusun secara paralel, untuk frekuensi 50Hz menggunakan induktor 2mH dan kapasitor 12uF dan untuk frekuensi 50Hz menggunakan induktor 2mH dan kapasitor 36uF.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancang Bangun Sistem

Rangkaian kendali sistem inverter ini didesain pada menggunakan masukan sumber DC dengan tegangan 12V. Mikrokontroler Arduino uno diprogram untuk mengendalikan rangkaian seperti, mengolah data masukan sensor kelembapan tanah, membangkitkan gelombang SPWM 50 Hz dan 25 Hz, menampilkan lampu indikator, serta Arduino diprogram untuk megendalikan filter aktif pada rangkaian sistem sesuai dengan frekuensi inverter. Berikut ini adalah tampak fisik hasil dari rancang bangun sistem kendali inverter yang diperlihatkan pada Gambar 6



Gambar 6. Rangkaian Keseluruhan Kendali Sistem Inverter

4.1 Pengujian Inverter Pada Kondisi Tanah Basah

Pada tahap ini pengujian inverter dilakukan dengan menancapkan *probe* sensor kelembapan tanah

pada tanah basah. Sesuai dengan fungsinya yaitu, mengatur penyiraman tanaman dengan menjaga kadar air dalam tanah sesuai dengan kebutuhan air pada tanaman. Untuk kondisi tanah basah, tanaman telah terpenuhi kebutuhan airnya. Oleh karena itu, tidak perlu dilakukan penyiraman pada tanaman.

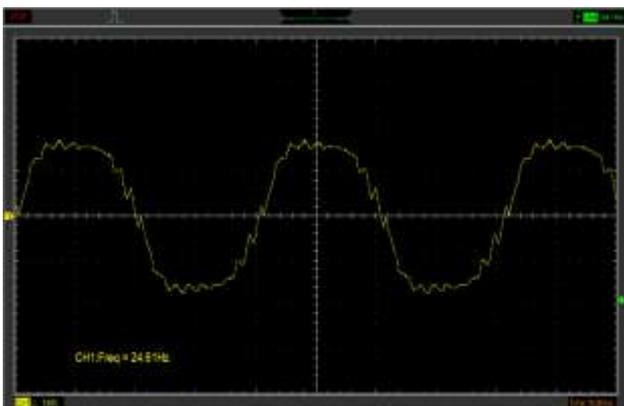
4.2 Pengujian Inverter Pada Kondisi Tanah Lembab

Pengujian sensor kelembapan tanah dilakukan dengan beberapa sampel tanah, sehingga dapat mengetahui perbedaan persentase kadar kelembapan tanah dari masing-masing tanah pada kondisi lembab. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui frekuensi keluaran inverter ketika sensor mendeteksi persentase kadar kelembapan tanah lembab pada beberapa sampel tanah. Berikut ini adalah hasil pengukuran input sensor kelembapan tanah terhadap frekuensi keluaran inverter pada kondisi tanah dalam keadaan lembab dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Input Sensor Terhadap Frekuensi Output Inverter pada Tanah Lembab

Jenis Tanah	Kelembapan (%)	Frekuensi Inverter
Tanah Kuning	35,09	24,61 Hz
Tanah Gambut	39,10	24,61 Hz
Tanah Bakar	37,34	24,61 Hz
Tanah berpasir	29,81	24,61 Hz

Berdasarkan tabel 3 hasil pengukuran input sensor kelembapan tanah terhadap frekuensi output inverter pada kondisi tanah lembab bekerja sesuai dengan yang diharapkan, terlihat bahwa ketika sensor mendeteksi kadar kelembapan tanah diantara 25% - 40% inverter menghasilkan frekuensi 24,61 Hz. Adapun gelombang keluaran inverter diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Gelombang Keluaran Inverter Ketika dihubungkan pada Motor Kondisi Tanah Kering.

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 7 didapatkan hasil pengukuran pada terminal *output* dari prototipe inverter terukur tegangan sebesar 137 Volt AC dengan arus terukur sebesar 1,4 Ampere. Untuk bentuk

gelombang dapat diamati bahwa gelombang telah menyerupai gelombang sinus, tetapi mengalami terdistorsi gelombang harmonik efek dari pembebanan motor induksi satu fase, hal ini mengakibatkan gelombang *output* inverter menjadi tidak sinusoidal murni melainkan memiliki riak.

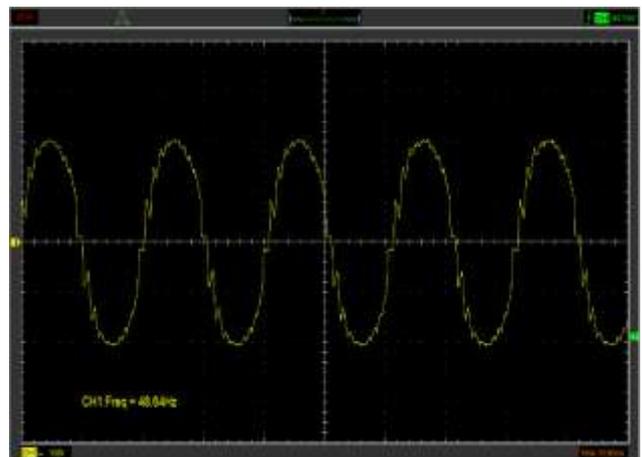
4.3 Pengujian Inverter Pada Kondisi Tanah Lembab

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui frekuensi keluaran inverter ketika sensor mendeteksi persentase kadar kelembapan tanah dalam keadaan kering dari beberapa sampel tanah. Berikut ini adalah hasil pengukuran input sensor kelembapan tanah terhadap frekuensi keluaran inverter pada kondisi tanah dalam keadaan kering dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Input Sensor Terhadap Frekuensi Output Inverter pada Tanah Kering

Jenis Tanah	Kelembapan (%)	Frekuensi Inverter
Tanah Kuning	1,56	48,83 Hz
Tanah Gambut	18,38	48,83 Hz
Tanah Bakar	12,41	48,83 Hz
Tanah berpasir	9,29	48,83 Hz

Berdasarkan tabel 4 hasil pengukuran input sensor kelembapan tanah terhadap frekuensi output inverter pada kondisi tanah kering bekerja sesuai dengan yang diharapkan, terlihat bahwa ketika sensor mendeteksi kadar kelembapan tanah dibawah 25% inverter menghasilkan frekuensi 48,64 Hz. Adapun gelombang keluaran inverter diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Gelombang Keluaran Sistem Kendali Inverter Berbeban Motor Pada Kondisi Tanah Kering.

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 8 diperoleh hasil Pengukuran pada sisi *output* dari terminal prototipe inverter terukur tegangan sebesar 163 Volt AC dengan arus terukur sebesar 0,4 Ampere, gelombang dapat diamati dengan menghasilkan frekuensi sebesar 48,64 Hz, terlihat bahwa setelah dihubungkan pada beban motor, mengalami sedikit terdistorsi gelombang harmonik

efek dari pembebanan motor membuat gelombang *output* inverter menjadi sedikit cacat.

4.4 Validasi Sensor Kelembaban Tanah

Validasi sensor kelembaban tanah dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor YL-69 yang diperoleh dari *serial monitor* dengan pembacaan *soil meter* yang ada di pasaran, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Validasi Kelembaban Tanah dengan Moist Meter dan Sensor YL-69

Validasi sensor kelembaban tanah (*soil moisture*) telah dilakukan sebanyak 3 kali pada tiga sampel tanah kering, lembab, dan basah. Berikut ini adalah hasil pengukuran yang diperlihatkan pada Tabel 5.

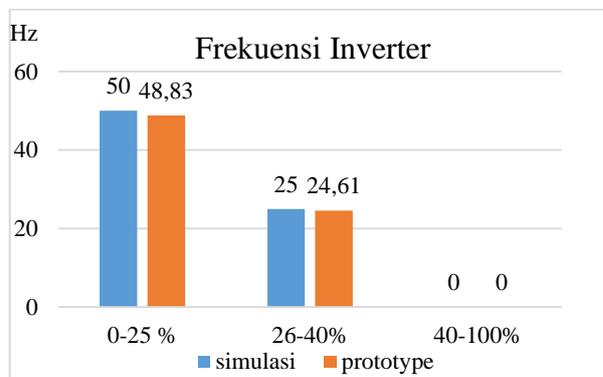
Tabel 5. Hasil Pengukuran Kelembaban tanah Moist Meter dan Sensor YL-69

Kondisi Tanah	Moist Meter	Nilai Sensor YL-69	Selisih
Kering	10%	11,24%	1,24 %
	20%	22,58%	2,58%
	23%	23,17%	0,17%
lembab	29%	34,02%	5,02%
	35%	37,73%	2,73%
	39%	40,37%	1,37%
basah	53%	55,91%	2,91%
	80%	80,94%	0,94%
	92%	88,56%	3,44%

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5 didapatkan beberapa data yang dapat di analisa, hasil pengukuran sensor YL-69 dengan sensor yang ada di pasaran memiliki selisih 5%, hal ini terjadi dikarenakan konstruksi sensor berbeda dengan alat kalibrasi, sehingga menimbulkan perbedaan pembacaan nilai kelembapan tanah.

4.5 Validasi Frekuensi Keluaran Inverter

Pada tahap ini dilakukan validasi frekuensi keluaran prototipe sistem kendali inverter yang telah dibuat dengan hasil rancangan inverter secara simulasi menggunakan *software Proteus Pro*. Berikut ini adalah kurva perbandingan frekuensi keluaran inverter terhadap perubahan persentase kadar kelembaban tanah yang diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva Validasi Frekuensi Keluaran Inverter

Berdasarkan kurva pada Gambar 10 menunjukkan kurva perbedaan hasil pengukuran melalui simulasi dengan hasil pengukuran prototipe, pada kasus tanah kering diperoleh *error* sebesar 2,34 %, sedangkan pada kasus tanah lembab menunjukkan adanya *error* sebesar 1,65 %. Perbedaan tersebut diakibatkan pengukuran secara simulasi diperoleh pada kondisi ideal, sedangkan untuk hasil pengukuran pada prototipe banyak faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran, baik itu dari akurasi alat ukur yang digunakan, komponen yang digunakan, dan lain-lain.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji prototipe sistem kendali inverter mampu menghasilkan gelombang sinus dengan frekuensi sesuai dengan persentase kadar kelembaban tanah, pada kondisi tanah kering dengan persentase kelembaban kurang dari 25%, inverter menghasilkan frekuensi sebesar 48,83 Hz, untuk kondisi tanah lembab dengan persentase 25-40%, inverter menghasilkan frekuensi sebesar 24,61Hz dan pada tanah basah dengan persentase kelembaban lebih dari 40 % inverter berada pada *mode standby*. Tegangan inverter mampu menghasilkan 200 Volt pada frekuensi yang sama, setelah dihubungkan motor pompa air, inverter mengalami jatuh tegangan, sehingga tegangan inverter pada kondisi tanah kering terukur sebesar 163 Volt, sedangkan pada kondisi tanah lembab tegangan terukur sebesar 137 Volt.

DAFTAR PUSTAKA

Asniati, Ery Muchyar Hasiri, and M.Arif Suryawan. (2017). "Penerapan Alat Sensor Kelembapan Tanah dengan Mikrokontroler Atmega328 Untuk Penyiraman Tanaman Otomatis." (November).

Asrul, J., Yefriadi, Y., Ismail, I., Muchtara, E., Rizky, M., & Hidayat, V. (2020). Kontrol Motor Induksi 1

- Fase Menggunakan Raspberry Pi. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 6-10.
- Azmi, K., Sara, I. D., & Syahrizal, S. (2017). Desain dan Analisis Inverter Satu Fase dengan Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arduino. *Karya Ilmiah Teknik Elektro*, 2(4).
- Bhattacharjee, T., Jamil, M., & Jana, A. (2018, March). Design of SPWM based three phase inverter model. In *2018 Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP)* (pp. 1-6). IEEE.
- Biswas, S. P., Hosain, M. K., Sheikh, M. R. I., Kibria, M. F., Hasan, F., & Haque, M. Y. Y. U. (2018, September). A Noble Approach for Generating Real Time Firing Pulse for Inverter Using Arduino and MATLAB/Simulink. In *2018 4th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT)* (pp. 662-665). IEEE.
- Citarsa, I. B. F., Satiawan, I. N. W., & Wiryajati, I. K. (2018). Pengaruh teknik modulasi pwm pada keluaran inverter tiga fase untuk pengaturan kecepatan variabel motor induksi. *DIELEKTRIKA*, 2(1), 32-39.
- Doucet, J., Eggleston, D., & Shaw, J. (2007). DC/AC Pure Sine Wave Inverter. *PFC Worcester Polytechnic Institute*.
- Hartono, B. P., & Nurcahyo, E. (2017). Analisis Hemat Energi Pada Inverter Sebagai Pengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fase. *Elektrika: Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 8-16.
- Ismiyadinata, J., Yuliansyah, H., Aziz, M. R. K., & Rohman, A. S. (2019). Desain dan Implementasi Inverter Satu Fase 400Watt dengan Metode Switching High Frequency. *Journal of Science and Applicative Technology*, 3(1), 9-16.
- Leuca, M.d.k., & Hamzah, A. (2019). Disain Dan Simulasi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) *Perturb and Observe* (P&O) dengan Kendali Arduino Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecepatan Rendah. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*.
- Muttaqin, S., Setiawan, I., & Facta, M. (2016). Desain dan Implementasi Voltage-Source Inverter (Vsi) Tiga Fase Sinusoidal Pulse-Width Modulation (Spwm) Dengan Dspic30f4011. *Transmisi*, 18(4), 152-160.
- Pradana, R., & Irawati, R. (2017). Metode Fuzzy Logic dalam Konsep Irigasi Air dengan Mikrokontroler Arduino. *Telematika MKOM*, 8(2), 107-113.
- Sayekti, I. (2015). Rancang Bangun Modul Inverter Gelombang Sinus Menggunakan LPF Orde Dua Sebagai Pengubah Gelombang Kotak Menjadi Sinus. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, 11(2).
- Wardana, M. K., Fadlika, I., & Fahmi, A. (2018). Rancang Bangun Inverter Satu Fasa SPWM Dengan Output Tegangan dan Frekuensi Variabel. *TEKNO Jurnal Teknologi, Elektro, dan Kejuruan*, 1-16.
- Yusuf, M., Prasetya, V., Riyanto, S. D., & Rafiq, A. A. (2019). Desain Simulasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fase dengan Switching Space Vector Pulse Width Modulation. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 6(1), 24-31.