

PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN SUMBER PANEL SURYA

Charles R. Harahap^{1*}, F.X. Arinto Setyawan², Rina A. Nasution³

¹Universitas Lampung; Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No 1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141; +62 721 702767

Riwayat artikel:

Received: 8 Juli 2023

Accepted: 20 Juli 2023

Published: 1 Agustus 2023

Keywords:

3-Phase induction motor;

3-Phase inverter;

Renewable energy;

Solar panel.

Correspondent Email:

charles.harahap69@gmail.com

Abstrak. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik telah dilakukan dalam berbagai penelitian yang menjangkau berbagai macam sektor di antaranya rumah tangga, peternakan, pertanian, industri, dan infrastruktur fasilitas umum. Dalam penelitian ini akan memanfaatkan energi terbarukan yaitu energi matahari sebagai sumber listrik dalam pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa. Energi listrik yang dihasilkan dari panel surya disimpan pada baterai untuk menjadi sumber listrik pada inverter tiga fasa. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sebuah sistem pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan sumber panel surya agar terjadi penghematan energi dalam mengendalikan kecepatan motor induksi. Pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dilakukan dengan pengaturan frekuensi jala-jala motor yang dihasilkan oleh inverter 3 fasa dengan menggunakan teknik pensaklaran PWM yang diatur pada mikrokontroler. Hasil dari penelitian menunjukkan di mana pada frekuensi 30 Hz kecepatan motor yaitu 926 RPM, pada frekuensi 40 Hz kecepatan motor yaitu 1134 RPM, dan pada frekuensi 50 Hz kecepatan motor yaitu 1476 RPM. Berdasarkan hasil analisa diperoleh kesimpulan hubungan frekuensi jala-jala motor dengan kecepatan motor induksi 3 fasa adalah berbanding lurus, di mana semakin besar frekuensi jala-jala maka kecepatan motor akan semakin besar. Panel surya dapat menjadi sumber energi listrik dalam pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa.

Abstract. The utilization of solar energy as a source of electrical energy has been studied in various studies that cover a wide variety of sectors, including households, livestock, agriculture, industry, and public facility infrastructure. This study will utilize renewable energy, namely solar energy, as a source of electricity to control the speed of a three-phase induction motor. The electrical energy generated from solar panels is stored in batteries to become a source of electricity in a three-phase inverter. This research aims to design a 3-phase induction motor speed control system with a solar panel source to save energy in controlling the speed of the induction motor. Controlling the speed of the 3-phase induction motor is done by adjusting the motor input frequency generated by the 3-phase inverter using the PWM switching technique set on the microcontroller. The study results show that at a frequency of 30 Hz, the motor speed is 926 RPM; at a frequency of 40 Hz, the motor speed is 1134 RPM; and at a frequency of 50 Hz, the motor speed is 1476 RPM. Based on the analysis results, it can be concluded that the relationship between the motor input frequency and the speed of the 3-phase induction motor is directly proportional, where by increasing the motor input frequency, the motor speed increased. Solar panels can be a source of electrical energy in controlling the speed of a 3-phase induction motor.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan kebutuhan energi yang terus meningkat, pemanfaatan energi terbarukan dengan menggunakan energi matahari dapat menjadi salah satu solusi energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi [1]. Energi matahari akan diubah menjadi energi listrik menggunakan teknologi (*Photovoltaic*) [2], [3]. Indonesia memiliki potensi energi matahari yang cukup tinggi karena secara geografis Indonesia mendapatkan radiasi matahari sepanjang tahun dengan lama penyinaran sebesar 6 sampai 8 jam per hari dengan nilai rata-rata insolasi (radiasi matahari persatuan luas dan waktu) di Indonesia sekitar 4 kWh/m², sehingga Indonesia berpotensi memanfaatkan energi surya menjadi energi listrik [4]. Selain itu matahari juga merupakan sumber energi yang tidak akan habis.

Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik telah dilakukan dalam berbagai penelitian yang menjangkau berbagai macam sektor di antaranya rumah tangga, peternakan, pertanian, industri, dan infrastruktur fasilitas umum. Dalam penelitian ini akan memanfaatkan energi terbarukan yaitu energi matahari sebagai sumber listrik dalam pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa.

Saat ini motor listrik yang paling umum digunakan terutama pada dunia industri yaitu motor induksi karena karakteristik motor yang tidak memerlukan *prime mover* (*self-starting motor*), tidak ada komutator dan sikat arang [5]. Motor induksi juga memiliki pengoperasian yang sederhana, perawatan yang lebih sedikit, sangat efisien, handal dan lebih murah daripada jenis motor lainnya.

Kecepatan motor induksi harus dikendalikan agar dapat digunakan. Pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu seperti mengubah jumlah kutub dan pengaturan frekuensi masukan [6], [7], [8]. Pada penelitian ini, peneliti akan melakukan pengendalian kecepatan motor induksi dengan mengatur frekuensi masukan pada motor. Dalam mengatur frekuensi masukan dibutuhkan sebuah inverter [9], [10], [11]. Inverter merupakan alat yang dapat merubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Inverter 3 fasa terdiri dari enam buah MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), di mana untuk mengendalikan pensaklaran

MOSFET digunakan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*) [7]. Teknik PWM dilakukan dengan mengendalikan gelombang digital menjadi ON/OFF secara bergantian dalam satu periode gelombang [12], [13]. Perbandingan waktu antara saat gelombang ON dengan waktu gelombang dalam satu periode disebut dengan *duty cycle*. Lebar pulsa (*duty cycle*) dimanfaatkan untuk mengatur kecepatan putaran motor sesuai dengan masukan yang telah diberikan oleh mikrokontroler Arduino Uno. Arduino merupakan sebuah mikrokontroler yang memiliki fungsi sebagai komponen utama dalam memperoleh *input*, memproses *input* tersebut dan mengeluarkan *output* dalam sebuah rangkaian elektronik. Sinyal PWM yang dihasilkan dari Arduino akan dikirim ke rangkaian *gate driver*. *Gate driver* berfungsi sebagai penguat tegangan pada Arduino Uno yang pada umumnya sebesar 5V kemudian akan menjadi tegangan yang memicu *gate* pada MOSFET di inverter [14].

Penelitian ini menerapkan energi terbarukan yaitu matahari yang akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya (*photovoltaic*) agar terjadi penghematan energi dalam mengendalikan kecepatan motor induksi. Listrik yang dihasilkan dari panel surya yaitu berupa tegangan searah (DC) yang kemudian akan disimpan pada baterai untuk menjadi sumber tegangan inverter yang kemudian tegangan searah tersebut diubah menjadi sumber tegangan bolak-balik (AC). Kemudian, sumber tegangan bolak-balik (AC) akan dinaikkan menggunakan trafo *step up* untuk menjadi sumber dari motor induksi.

Penelitian pengendalian kecepatan motor dengan suplai panel surya sudah pernah dilakukan yaitu pada penelitian pengontrolan pergerakan V/f motor induksi tiga fasa yang disuplai dari panel surya untuk sistem pemompaan air [15], di mana pada penelitian ini dilakukan dua tahap penelitian yaitu pada tahap pertama mendapatkan daya maksimum dari panel surya melalui rangkaian konverter *boost* DC-DC menggunakan teknik MPPT dan pada tahap kedua yaitu pengendalian motor induksi tiga fasa untuk mensuplai pompa air dengan menggunakan pengontrol kecepatan V/f. Penelitian pengontrolan pergerakan V/f motor induksi tiga fasa yang disuplai dari panel surya untuk sistem pemompaan air dilakukan

melalui simulasi dengan menggunakan MATLAB/Simulink.

Pada penelitian ini merancang bangun alat pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan sumber panel surya. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang melakukan pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dengan suplai panel surya yang dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Induksi

Motor induksi merupakan suatu alat listrik yang memiliki fungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau tenaga gerak yang berupa putaran pada poros motor. Motor induksi merupakan jenis motor AC (*Alternating Current*). Motor AC terbagi menjadi dua macam tipe yaitu *synchronous motor* dan *asynchronous motor*. Motor induksi merupakan motor AC tipe asinkron atau motor tidak serempak [16], hal ini karena putaran pada poros motor yang tidak sama atau tidak serempak dengan putaran medan fluks magnet stator. Selisih atau perbedaan putaran antara rotor dan putaran fluks magnet ini disebut dengan *slip*.

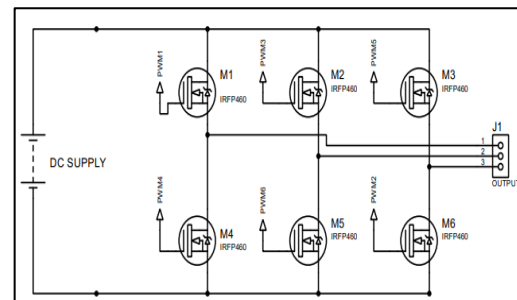
2.2. Energi Surya

Sel surya merupakan seperangkat modul yang digunakan untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* merupakan teknologi yang digunakan untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Gabungan dari sel-sel surya disebut dengan modul surya. Di dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel-sel surya yang disusun secara seri maupun paralel. Definisi surya itu sendiri merupakan sebuah elemen semi konduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *photovoltaic* [17].

2.3. Inverter 3 Fasa

Inverter merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan arus listrik searah (DC) menjadi sumber tegangan arus listrik bolak-balik (AC) dengan frekuensi tertentu. Adapun prinsip kerja dari rangkaian inverter tiga fasa tidak jauh berbeda dengan inverter satu fasa. Untuk mengubah

listrik DC menjadi listrik AC diperlukan mekanisme pengendalian kombinasi penyalan saklar elektronis dengan frekuensi yang sesuai. Untuk menghasilkan gelombang output listrik tiga fasa diperlukan pengaturan penyalan saklar elektronis dalam hal ini IGBT atau SCR dengan perbedaan masing-masing fasa 180° . Adapun urutan penyalan saklar pada masing-masing MOSFET ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Inverter 3 Fasa

Tabel 1. Urutan Penyalan Saklar pada Masing-Masing MOSFET

Interval (degree)	Kondisi MOSFET					
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
0 – 60	1	0	0	0	1	1
60 – 120	1	1	0	0	0	1
120 – 180	1	1	1	0	0	0
180 – 240	0	1	1	1	0	0
240 – 300	0	0	1	1	1	0
300 – 360	0	0	0	1	1	1

2.4. Arduino Uno

Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328 yang memiliki 14 pin *input* dan *output* digital di mana 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* [18]. Pada penelitian ini menggunakan *board* mikrokontroler Arduino jenis Arduino Uno yang ditunjukkan pada Gambar 2.

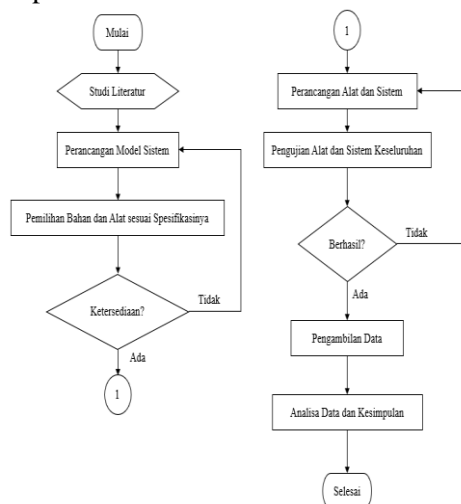


Gambar 2. Arduino Uno

3. METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari studi literatur, perancangan model sistem, pemilihan alat dan bahan, perancangan alat dan sistem, pengujian alat dan sistem keseluruhan, pengambilan data, serta analisis data dan kesimpulan.



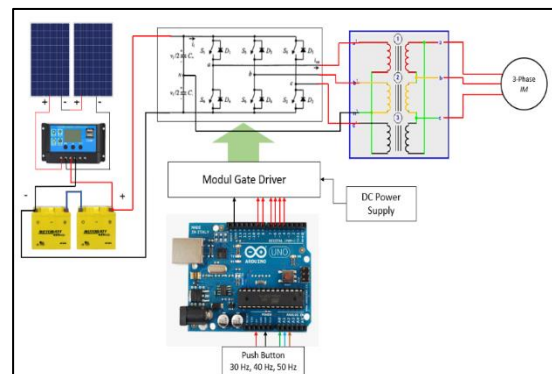
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3.2. Skema Alat

Skema alat dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini. Penjelasan skema alat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sinar matahari diserap oleh panel surya yang disusun secara seri. Sinar matahari yang sudah diserap kemudian akan dikonversikan menjadi energi listrik arus searah (DC).
2. Listrik arus searah (DC) yang dihasilkan dari panel surya akan diatur oleh *Solar Charge Controller* untuk diisi ke dalam baterai. Baterai akan menyimpan listrik arus searah (DC) yang dihasilkan panel surya dan nantinya akan menjadi suplai untuk rangkaian inverter.

3. Rangkaian inverter 3 fasa akan mengubah listrik arus searah (DC) dari baterai menjadi listrik arus bolak-balik (AC). Inverter terdiri dari enam buah MOSFET, di mana untuk mengendalikan pensaklaran MOSFET menggunakan teknik modulasi *pulse width modulation* (PWM).
4. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM yang kemudian akan diteruskan ke rangkaian *gate driver*. Rangkaian *gate driver* berfungsi sebagai penguat tegangan pada mikrokontroler Arduino Uno yang pada umumnya sebesar 5 Volt kemudian akan menjadi tegangan yang memicu *gate* pada MOSFET di inverter. Listrik arus bolak-balik (AC) yang telah diubah oleh inverter akan dinaikkan dengan transformator untuk menjadi suplai dari motor induksi.
5. Pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa melalui pengaturan frekuensi jala-jala motor. *Push Button* berfungsi untuk mengubah frekuensi jala-jala motor dengan rentang 30 Hz, 40 Hz, dan 50 Hz. Kecepatan putaran motor akan sesuai dengan *input* dari *push button* itu sendiri.



Gambar 4. Skema Alat

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendalian kecepatan motor ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk membangkitkan sinyal PWM yang mana sinyal PWM keluaran Arduino ini digunakan untuk proses pensaklaran (*switching*) pada inverter [19]. Adapun *prototype* yang dibangun pada penelitian ini terdiri dari beberapa modul rangkaian pengendali seperti modul DC *power supply*, modul *gate driver*, modul inverter 3 fasa dan rangkaian transformator 3 fasa. Pengendalian kecepatan motor induksi dengan pengaturan frekuensi dilakukan menggunakan

push button dengan variabel frekuensi yaitu 30 Hz, 40 Hz, dan 50 Hz.

4.1. Hasil Rancangan Rangkaian DC Power Supply

Rangkaian *power supply* yang dibuat pada penelitian ini berjumlah enam buah dengan tegangan keluaran sebesar 15 Volt di mana pada setiap *power supply* terdiri dari transformator CT 220/15 Volt 1 Ampere, dioda FR207, IC Regulator LM1815, kapasitor 4600 μ F 50V, dan kapasitor 100 μ F 50V. Pada Gambar 5 menunjukkan rangkaian DC *power supply*.



Gambar 5. DC Power Supply

4.2. Hasil Rancangan Rangkaian DC Power Supply

Panel surya yang digunakan saat penelitian ini adalah panel surya jenis *polycrystalline* yang disusun secara seri agar menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar untuk mengisi baterai. Baterai disusun secara seri sehingga memberikan tegangan keluaran 24 Volt. Baterai terlebih dahulu dihubungkan dengan *solar charge controller* (SCC) agar tegangan baterai dapat dideteksi oleh SCC. Kemudian, panel surya dihubungkan dengan dengan SCC. Pengujian panel surya untuk proses pengisian baterai dilakukan dengan cara mengamati waktu yang dibutuhkan panel surya untuk mengisi dua buah baterai 24 V. Pada Gambar 6 menunjukkan rangkaian panel surya dan pada Tabel 2 menunjukkan data pengujian panel surya untuk proses pengisian baterai.



Gambar 6. Rangkaian Panel Surya

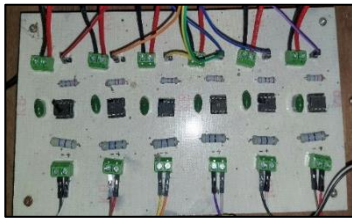
Tabel 2. Data Pengujian Panel Surya untuk Proses *Charging* Baterai

Tanggal	Tegangan Baterai (Volt)		Waktu <i>Charging</i>	Durasi
	Sebelum	Sesudah		
28 Mei 2023	21,8	24,3	13:00-13:36 WIB	36 Menit
30 Mei 2023	21,3	24,6	12:37-13:39 WIB	1 Jam, 2 Menit
30 Mei 2023	21,9	24,4	14:40-16:56 WIB	2 Jam, 16 Menit

Pada Tabel 2 di atas merupakan data pengujian panel surya untuk proses pengisian baterai yang mana dapat diamati bahwa terdapat perbedaan durasi waktu pengisian baterai. Pengujian dilakukan pada tanggal 28 Mei 2023 saat kondisi cuaca cerah sehingga pengisian baterai berlangsung selama 36 menit. Pada tanggal 30 Mei 2023, pengujian dilakukan sebanyak dua kali saat kondisi cuaca berawan sehingga pengisian baterai berlangsung cukup lama yaitu selama 1 jam 2 menit dan 2 jam 16 menit. Berdasarkan data pengujian panel surya, dapat diketahui bahwa saat kondisi cuaca cerah, intensitas cahaya semakin besar sehingga tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya semakin besar. Sementara itu, saat kondisi cuaca berawan, intensitas cahaya menjadi berkurang sehingga tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya juga semakin berkurang [20].

4.3. Hasil Rancangan Rangkaian Gate Driver

Rangkaian *gate driver* pada penelitian ini terdiri dari resistor 47 ohm, IC HCPL 3120, resistor 220 ohm, dan kapasitor Mylar 100nF. Jumlah rangkaian *gate driver* yang dibuat pada penelitian ini sebanyak 6 buah untuk melakukan proses pensaklaran 6 buah MOSFET pada inverter. Pin Arduino yang digunakan saat melakukan pensaklaran (*switching*) MOSFET yaitu pin digital 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan GND. Pada rangkaian *gate driver* diberikan masukan sumber DC 15 Volt, sehingga *output* dari *gate driver* tersebut berupa sinyal *switching* PWM dengan besar tegangan sebesar 15 Volt. Pada Gambar 6 menunjukkan rangkaian *gate driver*.

Gambar 6. Rangkaian *Gate Driver*

4.4. Hasil Rancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa

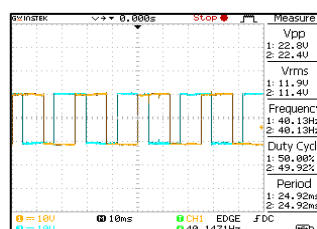
Pada inverter yang telah dibuat, menggunakan dua buah sumber DC dengan tegangan sebesar 12 Volt, menghasilkan tegangan keluaran berupa AC yang ditunjukkan pada Tabel 3 yang mana frekuensi keluaran inverter dapat diubah pada rentang 30 Hz, 40 Hz, dan 50 Hz. Pada penelitian ini, inverter 3 fasa bekerja dengan mode konduksi 180°. Rangkaian inverter 3 fasa dan gelombang keluaran inverter 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Tabel 3. Tegangan Keluaran Inverter 3 Fasa

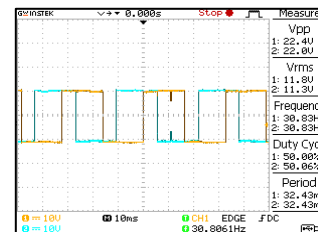
Frekuensi (Hz)	Tegangan Output (Volt)		
	Fasa A	Fasa B	Fasa C
30	11,8	11,3	11,3
40	11,9	11,4	11,4
50	12	11,5	11,5



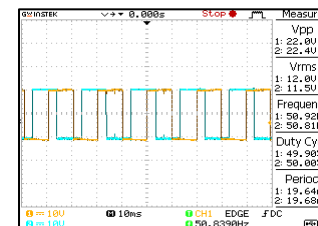
Gambar 7. Rangkaian Inverter 3 Fasa



(a)



(b)

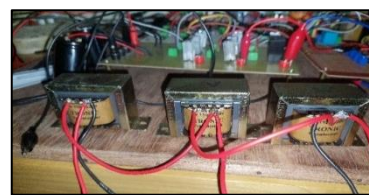


(c)

Gambar 8. Gelombang Keluaran Inverter 3 Fasa Pada Frekuensi (a) 30 Hz, (b) 40 Hz, (c) 50 Hz.

4.5. Hasil Rancangan Rangkaian Transformator

Rangkaian inverter 3 fasa pada penelitian ini menghasilkan tegangan keluaran yang belum mencapai *rating* tegangan dari motor induksi yang digunakan. Sehingga, diperlukan transformator untuk menaikkan tegangan keluaran inverter 3 fasa menjadi tegangan yang sesuai dengan tegangan *rating* motor induksi yang digunakan. Rangkaian transformator dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Transformator

Tabel 4. Tegangan Keluaran Transformator

Frekuensi (Hz)	Tegangan Keluaran Transformator (Volt)
30	106,0
40	114,2
50	123,7

Pada Tabel 4 merupakan data pengujian transformator untuk menaikkan tegangan keluaran inverter, tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian transformator pada frekuensi 30 Hz, 40 Hz, dan 50 Hz berturut-turut yaitu 106 V, 114,2 V, dan 123,7 V.

4.6. Pengujian Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa

Pengujian pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dilakukan dengan mengatur frekuensi sumber motor yang dihasilkan oleh inverter. Pengendalian kecepatan motor dilakukan menggunakan *push button* dengan rentang frekuensi 30 Hz, 40 Hz, dan 50 Hz. Ketika tombol 30 Hz ditekan, maka arduino uno akan memberikan sinyal PWM pada inverter sehingga motor akan berputar dengan frekuensi 30 Hz. Ketika tombol 40 Hz ditekan, maka arduino uno akan memberikan sinyal PWM pada inverter sehingga motor akan berputar dengan frekuensi 40 Hz. Kemudian, ketika tombol 50 Hz ditekan, maka arduino uno akan memberikan sinyal PWM pada inverter sehingga motor akan berputar dengan frekuensi 50 Hz. Pengukuran kecepatan motor induksi 3 fasa dilakukan dengan menggunakan tachometer digital. Data pengukuran kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan tachometer digital ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 10 di bawah ini.

Tabel 5. Data Pengukuran Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa

Frekuensi (Hz)	Kecepatan Motor (RPM)
30	926
40	1134
50	1476



(a)



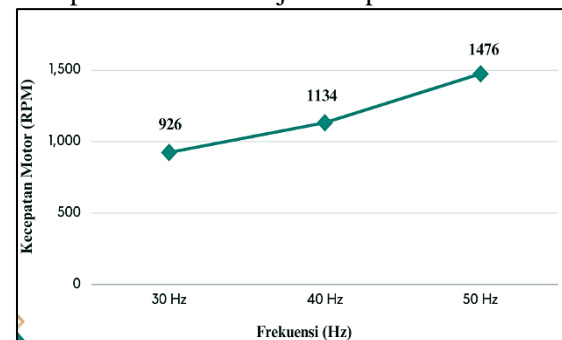
(b)



(c)

Gambar 10. Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa pada Frekuensi (a) 30 Hz, (b) 40 Hz, (c) 50 Hz

Pada Tabel 5, berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan, pada saat frekuensi *output* inverter 30 Hz motor berputar dengan kecepatan 926 RPM. Pada saat frekuensi *output* inverter 40 Hz motor berputar dengan kecepatan 1134 RPM dan pada saat frekuensi *output* inverter 50 Hz motor berputar dengan kecepatan 1476 RPM. Dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui bahwa hubungan antara perubahan frekuensi terhadap kecepatan motor adalah berbanding lurus, di mana ketika frekuensi semakin besar maka motor akan berputar semakin cepat. Adapun grafik hasil pengujian pengaruh frekuensi terhadap kecepatan motor ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

- Pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan sumber panel surya berhasil dilakukan. Panel surya dapat digunakan sebagai sumber listrik DC inverter di mana pada proses pengisian baterai, semakin besar intensitas cahaya maka tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya juga semakin besar.
- Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, perubahan frekuensi pada proses *switching* inverter berhasil mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa di mana pada frekuensi 30 Hz kecepatan motor yaitu 926 RPM, frekuensi 40 Hz kecepatan motor yaitu 1134 RPM, dan frekuensi 50 Hz kecepatan motor yaitu 1476 RPM. Sehingga, hubungan antara frekuensi dan kecepatan motor induksi 3 fasa adalah berbanding lurus, di mana

ketika frekuensi semakin besar maka motor akan berputar semakin cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Maulidia, P. Dargusch, P. Ashworth, and F. Ardiansyah, "Rethinking renewable energy targets and electricity sector reform in Indonesia: A private sector perspective," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 101, pp. 231–247, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.11.005.
- [2] T. Artiningrum and J. Havianto, "Meningkatkan Peran Energi Bersih Lewat Pemanfaatan Sinar Matahari," *Geoplanart*, vol. 2, no. 2, pp. 100–115, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.35138/gp.v2i2.185>.
- [3] H. Hasan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi," *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRKT)*, vol. 10, no. 2, pp. 169–180, 2012.
- [4] M. H. Hasan, T. M. I. Mahlia, and H. Nur, "A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 4, pp. 2316–2328, May 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.12.007.
- [5] L. Siregar, R. Silaen, and J. L. Hutabarat, "Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran dan Daya Masuk Motor Induksi Tiga Fasa (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-UHN)," *ELPOTECs*, vol. 4, pp. 1–15, 2021.
- [6] N. Evalina and A. H. Azis, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable logic controller," *Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- [7] C. R. Harahap, R. Saito, H. Yamada, and T. Hanamoto, "Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Using FPGA for High Frequency SiC Mosfet Inverter," *Journal of Engineering Science and Technology*, no. 10, pp. 11–20, 2014.
- [8] C. R. Harahap and T. Hanamoto, "FRIT Based PI Tuning for Speed Control of PMSM using FPGA for High Frequency SiC MOSFET Inverter," *IEEE: 2015 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*, 2015, doi: 10.1109/ICIEV.2015.7333974.
- [9] B. P. Hartono and E. Nurcahyo, "Analisis Hemat Energi Pada Inverter Sebagai Pengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa," *ELEKTRIKA*, vol. 01, pp. 8–16, Sep. 2017.
- [10] C. R. Harahap, E. Komalasari, and A. A. Clinton, "Sistem Pengendalian Kecepatan Dua Motor Brushless DC (BLDC) dengan Nine Switch Inverter Menggunakan Metode PWM," *ELECTRICIAN*, vol. 16, pp. 338–345, 2022.
- [11] C. R. Harahap and T. Hanamoto, "Fictitious Reference Iterative Tuning-Based Two-Degrees-of-Freedom Method for Permanent Magnet Synchronous Motor Speed Control Using FPGA for a High-Frequency SiC MOSFET Inverter," *MDPI*, 2016, doi: 10.3390/app6120387.
- [12] Akbar Kurniawan, "Analisis Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Fuzzy Logic Control," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 09, no. 3, pp. 733–740, 2020.
- [13] C. R. Harahap, E. Komalasari, and B. G. Nugroho, "Pengendalian Motor Brushless Direct Current dengan Frekuensi Tinggi Pulse Width Modulation Dengan Metode Back-Electromotive Force Menggunakan Microcontroller," *ELECTRICIAN*, vol. 17, pp. 128–133, 2023.
- [14] Fitrah Hidayat and Krismadinata, "Rancang Bangun VVVF Inverter 3 Fasa untuk Operasi Motor Induksi Tiga Fasa dengan Antarmuka Komputer," *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, vol. 19, no. 2, pp. 47–56, 2019.
- [15] N. Genc, "PV Based V/F Controlled Induction Motor Drive For Water Pumping," *IJTPE*, vol. 12, no. 45, pp. 103–108, 2020.
- [16] Zuhail, *DASAR TEKNIK TENAGA LISTRIK DAN ELEKTRONIKA DAYA*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [17] Nelly Safitri, Teuku Rihayat, and Shafira Riskina, *Teknologi Photovoltaic*. Yayasan Puga Aceh Riset, 2019.
- [18] J. W. Leksono, H. K. W, E. Indahwati, N. Yanuansa, and I. Ummah, *Modul Belajar Arduino Uno*. Universitas Hasyim Asy'ari.
- [19] R Dwiki Rachwanto, Saidah, and Amirullah, "Implementasi Inverter Berbasis Square Wave dan Sinusoidal PWM Menggunakan Arduino Uno," *REKAYASA*, vol. 15, no. 2, pp. 182–191, 2022.
- [20] M. K. Usman, "Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan Panel Surya," *Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik*, vol. 9, no. 2, pp. 52–58, 2020.