



PERANCANGAN VARIABLE FREQUENCY DRIVE UNTUK MENGATUR KECEPATAN EXHAUST FAN

Muhammad Ibnu Sholeh^{1*}, Herwandi¹, Sungkono¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang,
Jalan Soekarno Hatta No. 9 Malang, Indonesia
*ibnusholeh4546@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan sistem pengaturan kecepatan exhaust fan menggunakan Variable Frequency Drive (VFD) untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan ruangan. Fokus utama penelitian adalah aplikasi VFD pada ruangan kecil hingga menengah, yang masih jarang diteliti dibandingkan skala industri besar. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, menerima input dari tombol fisik dan komunikasi nirkabel ESP-NOW. Metode eksperimental digunakan untuk menguji sistem, dengan pemantauan keluaran gelombang Pulse Width Modulation (PWM) dan Pulse Width Modulation (SPWM) serta respons kecepatan motor exhaust fan terhadap variasi frekuensi input menggunakan oscilloscope. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi input dari 15 Hz hingga 60 Hz secara signifikan meningkatkan tegangan output dan kecepatan rotasi motor. Penelitian ini mengisi kesenjangan pengetahuan dengan memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi VFD untuk pengaturan kecepatan exhaust fan, meningkatkan kualitas udara dan kenyamanan penghuni ruangan.

Kata Kunci: Variable Frequency Drive, Kecepatan Motor, Exhaust Fan.

Abstract

This research develops a system for controlling the speed of exhaust fans using a Variable Frequency Drive (VFD) to enhance energy efficiency and room comfort. The main focus of the study is the application of VFD in small to medium-sized rooms, which has been less researched compared to large industrial scales. The developed system uses an ESP32 microcontroller as the control center, receiving inputs from physical buttons and wireless communication via ESP-NOW. An experimental method was used to test the system, monitoring Pulse Width Modulation (PWM) dan Pulse Width Modulation (SPWM) wave outputs and the exhaust fan motor speed response to varying input frequencies using an oscilloscope. The test results showed that increasing the input frequency from 15 Hz to 60 Hz significantly increased the output voltage and motor rotation speed. This research fills a knowledge gap by contributing to the development of VFD technology for exhaust fan speed control, improving air quality and room occupant comfort.

Keywords: Variable Frequency Drive, Motor Speed, Exhaust Fan.

Article History

Received: Agustus 2024

Reviewed: Agustus 2024

Published: Agustus 2024

Plagiarism Checker No 234

Prefix DOI : Prefix DOI : 10.8734/Kohesi.v1i2.365

Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. Pendahuluan

Dalam dunia industri motor listrik, *exhaust fan* merupakan salah satu contoh penggunaan motor AC induksi [1]. Pentingnya pengaturan kecepatan putar pada motor induksi menjadi salah satu fokus dalam optimalisasi kinerja [2], [3], [4]. Kontrol manual terhadap kecepatan motor induksi seringkali tidak efektif karena tidak memungkinkan penyesuaian yang presisi dan

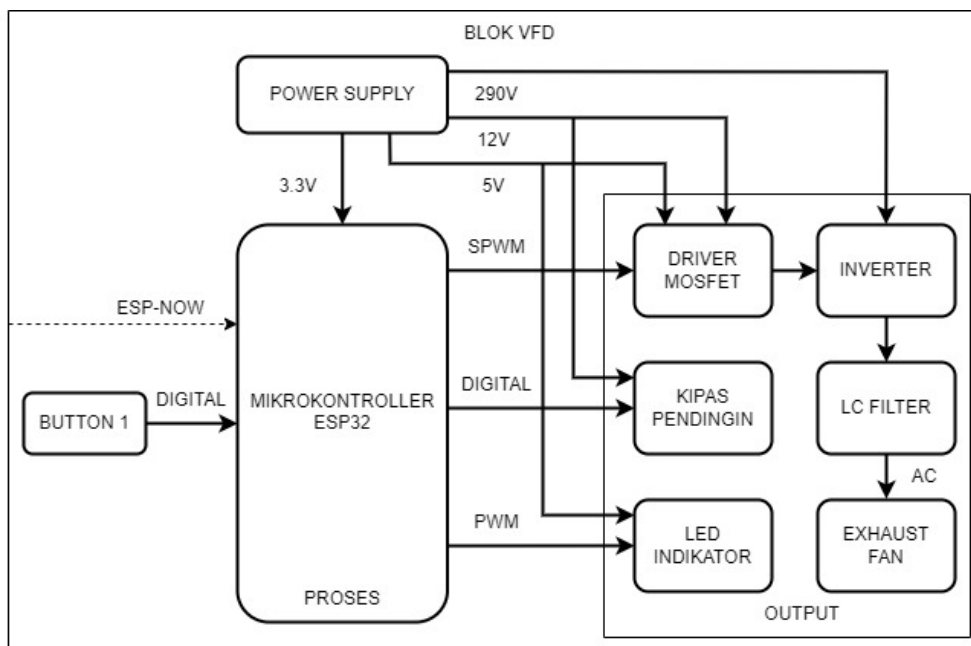
responsif terhadap perubahan beban atau kebutuhan operasional, yang pada akhirnya dapat mengurangi efisiensi dan kinerja motor secara keseluruhan [2], [3]. Salah satu metode yang sering digunakan adalah pengaturan sudut trigger rangkaian TRIAC (*Triode for Alternating Current*), meskipun metode ini seringkali menghasilkan bentuk gelombang sinusoida yang terpotong dan kurang ideal sebagai tegangan masukan motor [4], [5]. Alternatif lain yang lebih efisien adalah dengan mengatur frekuensi sumber tegangan. Namun, karena frekuensi sumber tegangan umumnya konstan (50 Hz) dan tidak dapat diubah, diperlukan sebuah alat yang mampu mengubah tegangan sumber dengan frekuensi tetap menjadi tegangan dengan frekuensi variabel. Alat ini dikenal dengan nama *Variable Frequency Drive* (VFD) [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Meskipun motor yang digunakan biasanya adalah motor tiga phase, pada penelitian ini fokusnya adalah penggunaan motor satu phase untuk mengatur motor induksi dengan lebih efisien, yang diaplikasikan dalam sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *Pulse Width Modulation* (SPWM) [9], [12], [13].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengembangkan dan menguji sistem pengaturan kecepatan motor AC satu fasa dengan *Variable Frequency Drive* (VFD).

2.1 Konsep Implementasi VFD pada Sistem Exhaust Fan

Pengembangan ini melibatkan penggunaan VFD untuk mengatur kecepatan motor dengan diagram blok sistem pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok *Variable Frequency Drive* (VFD)

Gambar di atas menunjukkan diagram blok sistem pengaturan kecepatan *exhaust fan* yang memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan *Variable Frequency Drive* (VFD). Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali [14], menerima input dari tombol (Button 1) dan komunikasi nirkabel (ESP-NOW) [14], serta mengeluarkan sinyal digital dan PWM untuk mengontrol sistem [12], *Power supply* menyediakan tegangan yang diperlukan untuk berbagai komponen, yaitu 290V, 12V, 5V, dan 3.3V.

Blok VFD berfungsi mengatur kecepatan exhaust fan dengan mengontrol frekuensi dan tegangan output. Di dalam blok VFD terdapat Driver MOSFET yang mengubah sinyal SPWM



(Sinusoidal PWM) dari mikrokontroler menjadi sinyal yang dapat digunakan oleh inverter. Inverter kemudian mengubah sinyal DC menjadi AC, yang disaring oleh LC Filter untuk menghasilkan sinyal AC yang lebih halus sebelum diteruskan ke *exhaust fan*. Kipas pendingin mencegah *overheating* pada komponen-komponen VFD, dan LED indikator menunjukkan status operasional sistem.

Spesifikasi komponen yang digunakan dalam studi implementasi VFD untuk mengatur kecepatan motor pada sistem *exhaust fan* dapat dilihat pada Tabel 1.

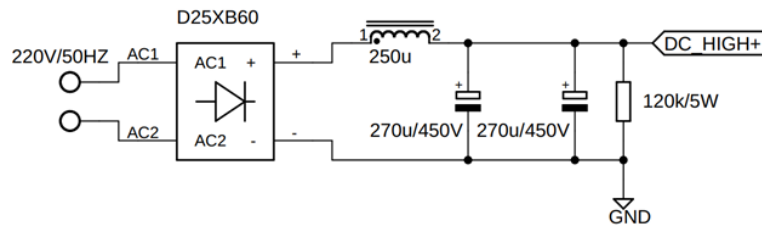
Tabel 1. Spesifikasi Komponen

No	Jenis	Tipe	Spesifikasi
1	Power Supply	HLK-10M03	Input 110-220V AC, Output 12V DC, 0.8A
2	Power Supply	Full Bridge	Input 220V AC, Output 290V DC, 8A
3	Regulator	Step Down MP1584	Input 12V DC, Output 3.3V DC 3A
4	Regulator	AMS1117	Input 12V DC, Output 5V DC 1A
5	Input	Button	Aktif LOW (Pull up internal)
6	Prosesor	ESP32 WROOM	Wifi, flash = 4 MB
7	Motor	Kipas Pendingin	4x4x1 cm, 12V, 0.09A
8	LED Indikator	WS2812	5V
9	Driver Mosfet	IR2110	Voffset = 500V, Vout 10-20V
10	Mosfet (Inverter)	IRF840	400V, 8A
11	Filter	LC (induktor + kapasitor)	Induktor = 3mH, kapasitor = 2uF
12	Motor	Exhaust fan MVF893	220V AC, 10–50 Hz, 30W, 1500 RPM

Tabel 1. merinci spesifikasi komponen yang digunakan dalam pengembangan alat pengatur kecepatan exhaust fan. Komponen-komponen ini telah dipilih berdasarkan perhitungan yang akurat dan referensi dari datasheet masing-masing, sehingga menjamin keandalan dan kinerja sistem. *Power supply*, regulator, dan komponen lain seperti mikrokontroler ESP32 WROOM, driver MOSFET, dan motor *exhaust fan* telah diuji dan dikonfirmasi sesuai dengan kebutuhan sistem. Kombinasi komponen yang tepat memastikan sistem dapat beroperasi secara efisien dan stabil.

2. 2 Perancangan *Power Supply Full Bridge*

Rangkaian penyearah full bridge [15], dengan tegangan masuk 220V AC, frekuensi sebesar 50Hz. Design rangkaian *power supply full bridge* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Power Supply Full Bridge

Untuk mengetahui tegangan keluaran maksimum pada keluaran dioda bridge atau sebelum filter induktor dan kapasitor, menggunakan persamaan (1).

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \quad (1)$$

$$V_{dc} = 0.636 \cdot \sqrt{2} \cdot 220V$$

$$V_{dc} = 197,877V$$

Dari perhitungan diatas bila rata-rata arus keluaran *rectifier* jika dengan contoh beban 330 Ohm, dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{197,877}{330} \quad (2)$$

$$I_{dc} = 0.599 A$$

Untuk mendapatkan tegangan DC dengan ripel yang rendah maka dipasang filter pasif berupa kapasitor, pada perhitungan ini akan dicari besarnya nilai kapasitor yang digunakan jika diinginkan ripel faktornya maksimal 5% beserta besarnya tegangan output rata-rata V_{dc} setelah dipasang kapasitor filter dengan persamaan (3).

$$RF = \frac{1}{\sqrt{2} (4fRC - 1)} \quad (3)$$

$$\sqrt{2} RF \cdot 4fRC - \sqrt{2} RF = 1$$

$$\sqrt{2} RF \cdot 4fRC = 1 - \sqrt{2} RF$$

$$C = \frac{1 + \sqrt{2} RF}{4fRC\sqrt{2} RF}$$

$$C = \frac{1}{4fR} \left(\frac{1}{\sqrt{2} RF} + 1 \right)$$

$$C = \frac{1}{4 \cdot 50 \cdot 220} \left(\frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,05} + 1 \right)$$

$$C = 2,273 \cdot 10^{-5} \cdot 15,142$$

$$C = 0.000344 F$$

$$C = 344 \mu F$$

Agar ripel faktor bernilai maksimal 5% maka cukup menggunakan kapasitor minimal ukuran 344 μ F, jika ingin lebih halus lagi maka dapat memperbesar ukuran kapasitor, pada rangkaian menggunakan 2x 270 μ F yang dipasang paraller sehingga menghasilkan nilai kapasitor 540 μ F, agar output DC lebih halus lagi maka ditambah induktor sebelum filter kapasitor. Lalu perlu ditambahkan resistor pembuang sisa muatan kapasitor apabila sistem telah dalam keadaan berhenti, pada rangkaian menggunakan nilai 120K Ω 5W. Dengan menggunakan filter, maka tegangan output rata-rata penyearah full bridge dapat dihitung dengan persamaan (4).

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r(pp)}{2\sqrt{2}} = V_m - \frac{V_m}{4\sqrt{2}RC} \quad (4)$$

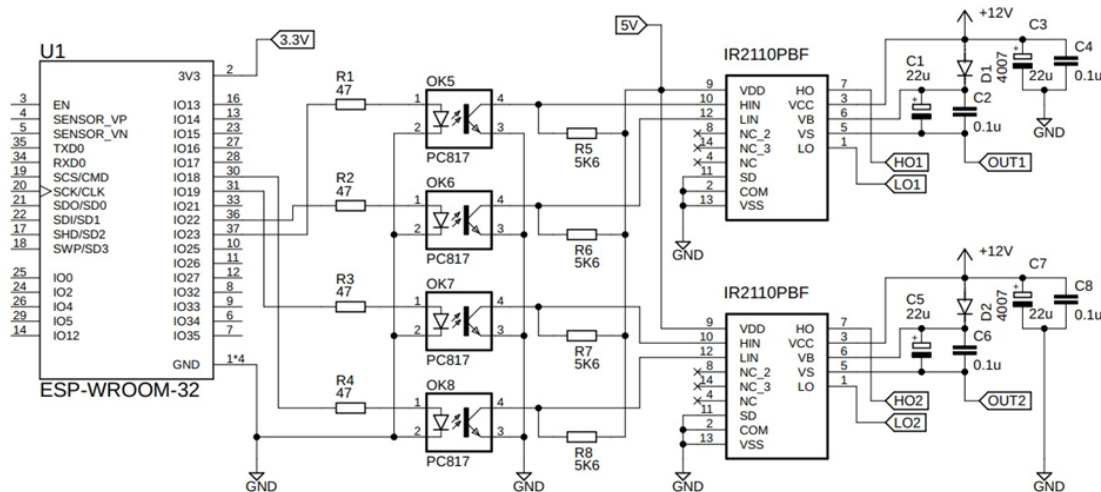
$$V_{dc} = 311,127 - \frac{311,127}{4 \cdot 50 \cdot 220 \cdot 540 \cdot 10^{-6}}$$

$$V_{dc} = 311,127 - 13,094$$

$$V_{dc} = 298,033 V$$

2.3 Perancangan Driver MOSFET

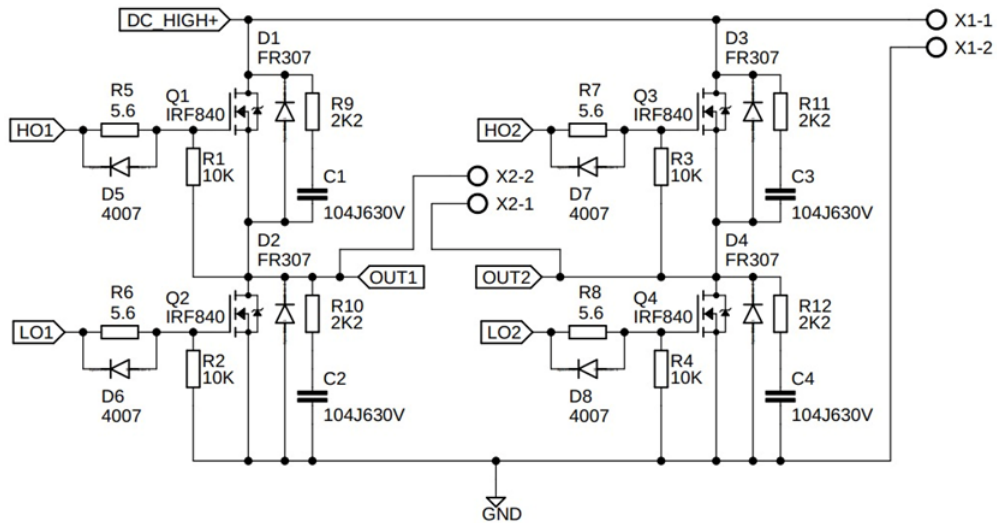
Rangkaian driver MOSFET berfungsi untuk mengatur kondisi high atau low sinyal yang akan diterima oleh mosfet pada bagian inverter. Input sinyal pada IC IR2110 terdapat pada kaki HIN dan LIN, untuk output IC IR2110 terdapat pada kaki HO dan LO yang dihubungkan dengan kaki Gate pada sepasang MOSFET high side dan low side. Ketika HIN mendapatkan sinyal HIGH maka akan menggerakkan MOSFET high side, sedangkan ketika LIN mendapatkan sinyal HIGH maka akan menggerakkan MOSFET low side. Komponen bootstrap pada rangkaian MOSFET Driver ini mengacu pada Application Note AN-978, datasheet IC IR2110, dan datasheet IRF840. Pada rangkaian driver MOSFET input sinyal ini berasal dari optocoupler PC817 dan mikrokontroller ESP32, ESP32 sebagai pembangkit sinyal SPWM dan PC817 sebagai isolasi apabila terjadi kasus short circuit pada rangkaian driver MOSFET atau inverter maka ESP32 aman terhadap tegangan tinggi yang dapat merusak ESP32. Gambar 3 merupakan rangkaian driver MOSFET.



Gambar 3. Gambar Rangkaian Driver MOSFET

2.4 Perancangan Inverter

Rangkaian Inverter menggunakan dua pasang MOSFET atau empat buah MOSFET yang berfungsi sebagai saklar dengan konfigurasi full bridge, MOSFET yang digunakan adalah tipe IRF840 yang memiliki tegangan Drain-Source sebesar 500V dan arus Drain sebesar 8A. Pada masing-masing MOSFET digunakan pengaman lonjakan tegangan karena beban induktif berupa diode yang dipasang parallel pada pin source dan drain MOSFET dan sebuah rangkaian RC Snubber. Untuk penyulutan inverter terdapat empat masukan, masing-masing kaki Gate MOSFET yaitu HO1, LO1, HO2 dan LO2. Rangkaian inverter dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Inverter

2.5 Perancangan LC filter

Untuk mendapatkan gelombang output yang mendekati sinus murni dari inverter, perlu dipasang LC filter jenis low pass. Jika induktor yang diinginkan adalah 3mH dan frekuensi cut off adalah 4000Hz, nilai kapasitor dapat dihitung dengan persamaan (5).

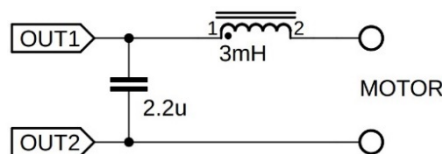
$$F_c = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 CL}} \quad (5)$$

$$C = \frac{1}{f c^2} = \frac{1}{4000^2}$$

$$C = \frac{2,5 \cdot 10^{-7}}{4\pi^2 \cdot 0,003}$$

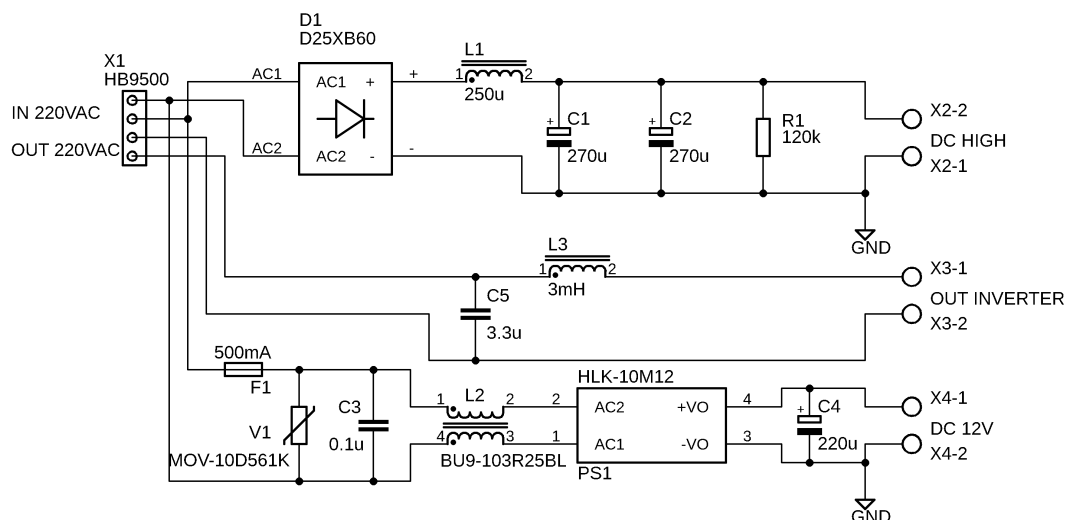
$$C = 2,1 \cdot 10^{-6} = 2,1 \mu F$$

Nilai kapasitor yang tersedia atau yang mendekati dapat menggunakan 2,2 μF , rangkaian LC filter dihubungkan ke output inverter dan beban seperti pada Gambar 5.

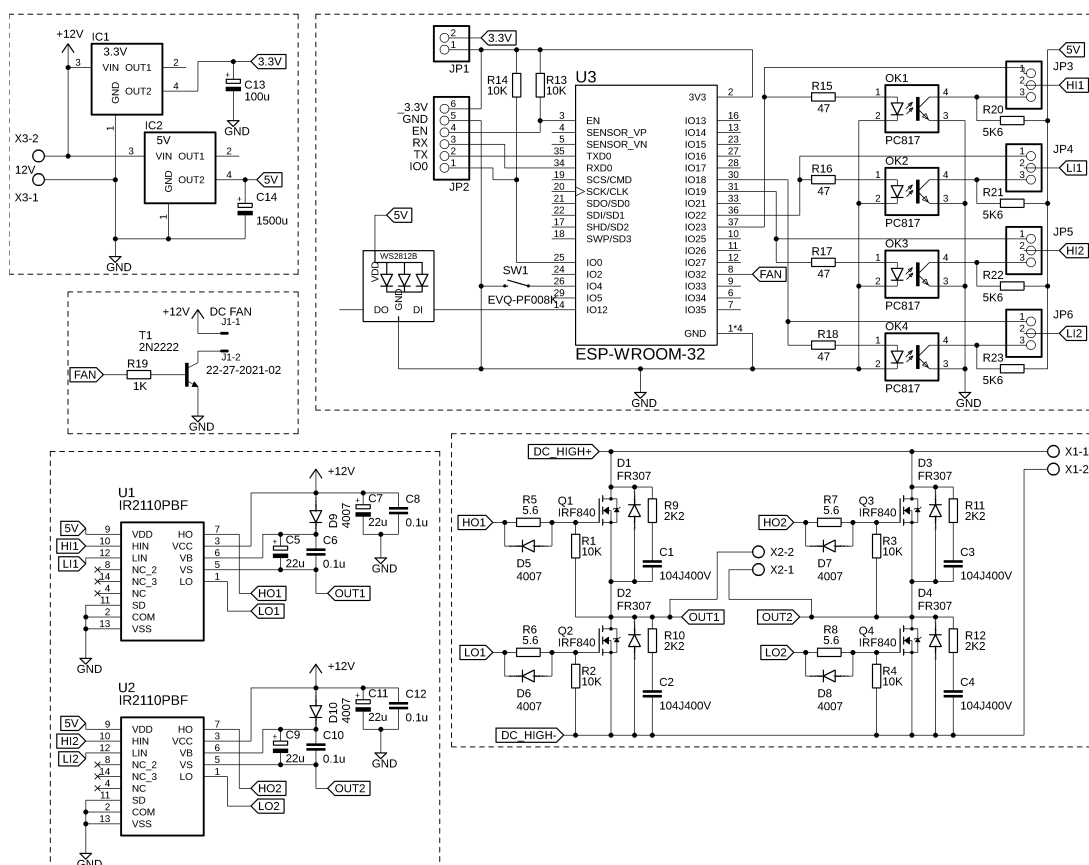


Gambar 5. LC filter ke output inverter dan beban

Untuk design skematik dan PCB blok VFD dibagi menjadi dua PCB, PCB pertama berisi rangkaian power supply dan rangkaian LC filter, lalu untuk PCB kedua berisi rangkaian mikrokontroller, driver MOSFET dan inverter. Skematik dan PCB pertama keseluruhannya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Skematik dan PCB Pertama



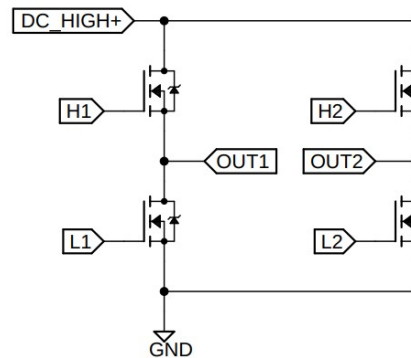
Gambar 7. Rangkaian Skematik dan PCB kedua

2.6 Perancangan Program VFD

Perancangan program VFD dimulai dengan deklarasi variabel dan nilai awalnya, dilanjutkan dengan pembuatan data nilai untuk membentuk gelombang sinus [9]. Selanjutnya,



program mengaktifkan sinyal SPWM dan sinyal PWM fundamental [12], [13] di mana nilai frekuensinya mengikuti frekuensi yang diterima dari komunikasi ESP-NOW [14]. Rangkaian program VFD dapat dilihat pada Gambar 8.



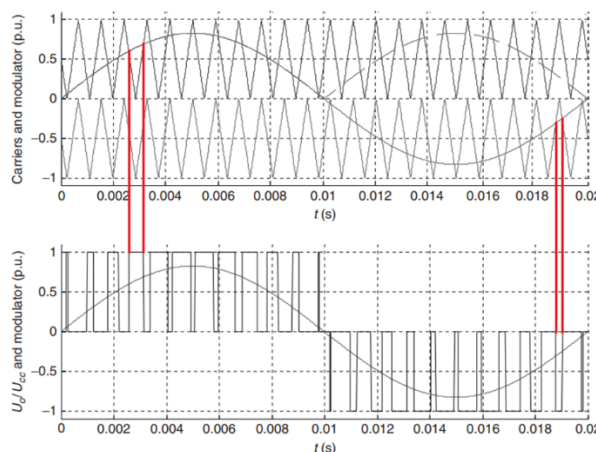
Gambar 8. Rangkaian Program VFD

Tegangan bolak balik pada terminal OUT1 dan OUT2 dihasilkan dari kombinasi pensaklaran setiap mosfet yang saling bersilangan

Tabel 2. Pensaklaran MOSFET

Keadaan	Pasangan 1		Pasangan 2		Tegangan Keluaran VOUT
	H1	L1	H2	L2	
1	HIGH	LOW	LOW	HIGH	+VDC
2	LOW	HIGH	HIGH	LOW	-VDC
3	LOW	HIGH	LOW	HIGH	0
4	HIGH	LOW	HIGH	LOW	0

Tegangan keluaran menjadi nol volt saat satu pasang MOSFET menerima input LOW. Jika kedua pasang MOSFET mendapat logika HIGH bersamaan, inverter dapat mengalami short circuit dan merusak MOSFET. Untuk menghasilkan gelombang sinusoidal, digunakan SPWM atau PWM dengan duty cycle mengikuti amplitudo gelombang sinus [10], ditentukan dari persinggungan sinyal carrier dan modulasi, seperti yang ditunjukkan oleh garis merah pada Gambar 9.



Gambar 9. Persinggungan Sinyal Carrier dan Modulasi [16]

Penulisan program untuk membuat datatabel yang berisi nilai duty cycle PWM berlogika seperti amplitudo gelombang sinus dituliskan sebagai berikut:

```
const int lookupSize = 128;
uint8_t sinLookup[lookupSize];
int maxAmplitudo = 255;
for (int i = 0; i < lookupSize; i++) {
    sinLookup[i] = round(maxAmplitudo * sin(PI * i / (lookupSize)));
}
```

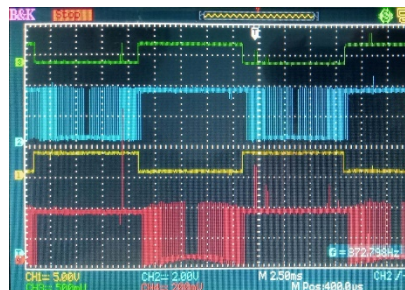
Dalam program, gelombang SPWM memiliki 128 data duty cycle per gelombang sinus. Amplitudo puncaknya bernilai 255, yang merupakan nilai maksimal atau 100% dari *duty cycle* PWM 8-bit pada ESP32.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan Pembahasan setelah dilakukan pendekatan eksperimental untuk mengembangkan dan menguji sistem pengaturan kecepatan *exhaust fan* dengan *Variable Frequency Drive* (VFD) menggunakan alat uji *Oscilloscop*.

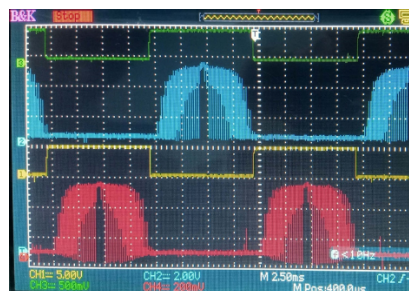
3.1 Pengujian VFD

Pengujian VFD disimulasikan menggunakan Oscilloscop dengan hasil sebagai berikut:



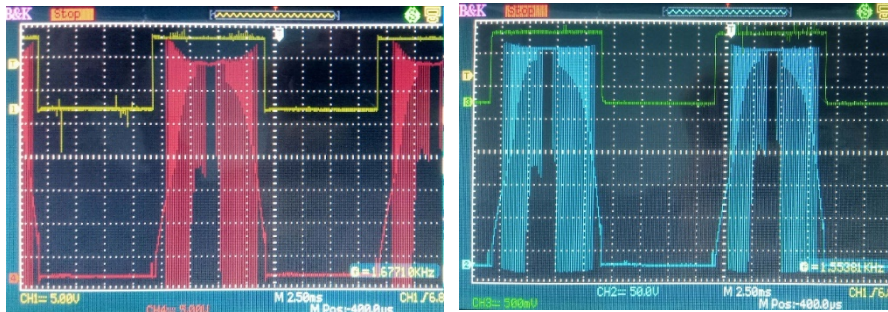
Gambar 10. Tampilan Awal Keluaran Gelombang SPWM dan PWM

Gelombang PWM keluaran dibuat terinvers, karena output pullup optocoupler akan berlogika HIGH saat input diberi logika LOW, berikut hasil pengukuran output optocoupler.



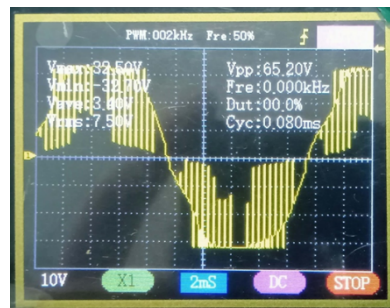
Gambar 11. Keluaran Gelombang Optocoupler

Sinyal PWM yang terbaca ini akan dihubungkan ke driver mosfet IR2110, untuk hasil pembacaan pengukurannya.



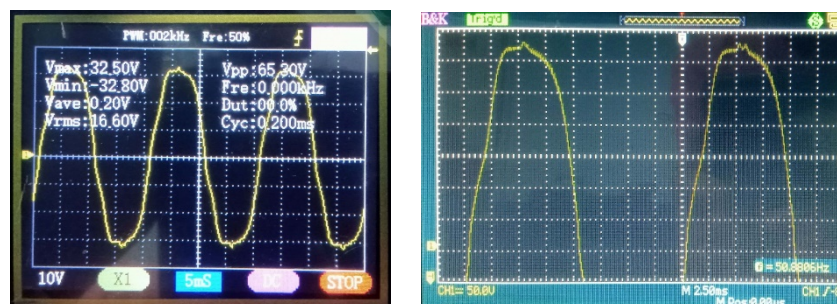
Gambar 12. Hasil Sinyal PWM dihubungkan ke driver mosfet

Pada sinyal output IR2110 digunakan untuk mentrigger mosfet pada inverter, dari kombinasi empat logika input ini akan didapatkan output inverter berupa sinyal bolak balik yang masih belum berupa gelombang AC sempurna, pada Gambar 13.



Gambar 13. Output Inverter

Output inverter ini kemudian dihubungkan ke rangkaian LC filter sehingga output dari inverter dapat berupa sinyal AC yang mendekati murni Gambar 14.



Gambar 14. Gelombang Output VFD

3.2 Output VFD Terhadap Beban Motor

Hasil pengujian ini dilakukan untuk melihat respon tegangan output dan kecepatan putar motor exhaust fan terhadap input frekuensi,

Tabel 3. Hasil Pengujian Respon Tegangan Output dan Kecepatan Terhadap Frekuensi

Freq (x40)	Volt (x10)	RPM (x1)
20	69	749
30	157	1382



40	208	1811
50	244	2048
60	250	1657

Dari data Tabel 3. Dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya frekuensi input dari 15 Hz hingga 60 Hz, terjadi peningkatan tegangan output dan kecepatan RPM secara berkelanjutan. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan frekuensi input pada sistem mampu secara efektif mengontrol kedua parameter tersebut, yang penting untuk operasi yang stabil dan efisien dari motor exhaust fan.

4. Kesimpulan

Pengujian sistem pengaturan kecepatan *exhaust fan* dengan *Variable Frequency Drive* (VFD) yang menghasilkan hasil yang signifikan. Dari data pengujian, terlihat bahwa dengan meningkatnya frekuensi input dari 15 Hz hingga 60 Hz, terjadi peningkatan tegangan output dan kecepatan RPM *exhaust fan* secara proporsional. Hal ini menunjukkan bahwa sistem VFD mampu mengatur exhaust fan dengan efektif, memungkinkan penyesuaian kecepatan sesuai kebutuhan untuk meningkatkan sirkulasi udara dan mengoptimalkan kondisi lingkungan dalam ruangan.

Untuk percobaan selanjutnya, disarankan untuk memperluas pengujian dengan variasi beban *exhaust fan* yang lebih bervariasi dan kompleks. Hal ini akan membantu dalam mengevaluasi performa sistem VFD dalam berbagai kondisi operasional yang lebih realistis.

5. Ucapan Terimakasih

Terima kasih disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah membimbing dengan ikhlas dan telaten mulai awal sampai akhir dalam pengerjaan, kepada keluarga terutama kedua orang tua yang selalu mendoakan yang terbaik dan selalu menjadi garda terdepan dalam mendukung apa yang saya lakukan, serta Rizky Anjani yang selalu pengertian dan memberi semangat setiap detik nafas ini.

Daftar Pustaka

- [1] C. Turkeri and O. Kiselychnyk, "Dynamical Modelling of a Centrifugal Fan Driven by an Induction Motor and Experimental Validation," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 18, Sep. 2023, doi: 10.3390/en16186658.
- [2] W. Hassan, F. Mahmood, M. Akmal, and M. Nasir, "Optimum operation of low voltage variable-frequency drives to improve the performance of heating, ventilation, and air conditioning chiller system," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 30, no. 9, Sep. 2020, doi: 10.1002/2050-7038.12481.
- [3] T. Kocaer and Y. Oner, "Axial Flux Motor Design for Ventilation Fans Used in The Automotive Industry," *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 295–299, Jul. 2022, doi: 10.17694/bajece.1120298.
- [4] M. Alvin Saputra, A. Herawati, and I. Novia Anggraini, "Analisis Pengaruh Sudut Penyalaan TRIAC Terhadap Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan Cycloconverter," *Jurnal Amplifier*, vol. 11, no. 1, 2021.



- [5] M. I. Taufiqi, "Analisis Penggunaan Alat Pengatur Kecepatan Motor Ac Satu Phase Menggunakan Bidirectional Triode Thyristor (TRIAC)," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 2, 2021.
- [6] S. Shaikh, D. Kumar, A. Hakeem, and A. M. Soomar, "Protection System Design of Induction Motor for Industries," *Modelling and Simulation in Engineering*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/7423018.
- [7] Fahlefi M., "Sistem Kendali Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variabel Frequency Drive," *padang*, Feb. 2023.
- [8] Deni Irawan, Prihadi Murdiyat, and Rusdiansyah, "Variable Frequency Drive (VFD) Berbasis Arduino Mega 2560 Sebagai Pengendali Motor Induksi 3 Fase," *PoliGrid*, vol. 4, no. 2, Dec. 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i2.30.
- [9] I. Nugrahanto, G. Putra Riatma, A. Dwi Risdhayanti, P. Studi Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro -Politeknik Negeri Malang Jl Soekarno Hatta No, K. Malang, and J. Timur, "Perancangan Variable Frequency Drive (VFD) Satu Phasa dengan Menggunakan Metode Sinusoida Pulse Width Modulation Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 17, no. 2, 2022.
- [10] V. Ramana, P. Chandrasekar, and R. Sreedhar, "Simulation Studies On Performance Analysis Of Variable Frequency Induction Motor Drive And Incipient Fault Diagnosis Using Wavelets," *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, vol. 9, no. 3, Mar. 2020, [Online]. Available: www.ijstr.org
- [11] C. Dewi, D. Tri, P. Yanto, O. Candra, and M. Fahlefi, "Trainer Kendali Motor Induksi Menggunakan Variable Frequency Drive: Pengujian Jog Dial dan External Potentio Meter," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 1, pp. 364–375, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.403.
- [12] A. Hafeez *et al.*, "Comparative Analysis of the PWM and SPWM on Three-Phase Inverter through Different Loads and Frequencies," *Journal of Computing & Biomedical Informatics*, vol. 4, no. 2, 2023, doi: 10.56979/402/2023.
- [13] K. Inyama, C. Eberechi Uchegbu, and U. Solomon Alamezie, "Modeling of a Pure Sine Wave Power Inverter using Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Technique," 2023. [Online]. Available: www.altestore.com
- [14] R. Pasic, I. Kuzmanov, and K. Atanasovski, "ESP-NOW communication protocol with ESP32," *Izzivi prihodnost*, vol. 6, no. 1, Mar. 2021, doi: 10.37886/ip.2021.019.
- [15] Y. M. Agape, D. Susilo, and A. Febrianto, "Perancangan Sistem Deteksi Kadar CO2 pada Ruangan Tertutup Menggunakan Metode Fuzzy Logic Mamdani Terkoneksi Telegram," *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 11, no. 2, pp. 371–379, Aug. 2022, doi: 10.23887/jstundiksha.v11i2.47043.
- [16] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, Ketiga. USA: ELSEVIER, 2011.

E-ISSN : 2988-1986

<https://ejournal.warunayama.org/kolesi>



Kolesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 4 No 3 Tahun 2024