

Rancang Bangun Multilevel Inverter Dengan Filter Pasif L-C-L dan Teknologi IoT Untuk Memantau Perubahan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa

Noer Soedjarwanto¹, Syaiful Alam², Endah Komalasari³, Anizar⁴, Gesang Amar R. K.⁵

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145
¹noersoedjarwanto@gmail.com

Intisari — Multilevel inverter merupakan jenis inverter yang digunakan untuk menghasilkan sinyal AC yang frekuensinya dapat diatur dan kualitas yang lebih baik. Filter pasif L-C-L digunakan untuk menghilangkan harmonik pada sinyal AC yang dihasilkan. Sedangkan teknologi IoT digunakan untuk memantau kecepatan motor secara jarak jauh melalui aplikasi mobile. Pada skripsi ini, perancangan flying capacitor multilevel inverter digunakan sebagai pengatur kecepatan motor induksi dengan Total Harmonic Distorsi (THD) yang besar harmonisa tegangannya dapat dikurangi dengan menambah tingkatan pada inverter. Kemudian, filter pasif L-C-L dirancang untuk menghilangkan harmonik pada sinyal AC yang dihasilkan. Selanjutnya, implementasi teknologi IoT dilakukan dengan menggunakan platform IoT Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa multilevel inverter dengan filter pasif L-C-L berhasil menghasilkan sinyal AC dengan kualitas yang lebih baik. Selain itu, teknologi IoT berhasil diimplementasikan dengan baik dan memungkinkan pengguna untuk memantau kecepatan motor secara jarak jauh melalui aplikasi mobile. Dengan demikian, penggunaan multilevel inverter dengan filter pasif L-C-L dan teknologi IoT dapat meningkatkan efisiensi dan pengendalian motor induksi satu fasa secara efektif.

Kata kunci — Multilevel Inverter, Filter Pasif L-C-L, Internet of Things, Motor Induksi, dan Total Harmonic Distorsi.

Abstract — Multilevel inverter is a type of inverter used to generate AC signals with adjustable frequency and better quality. L-C-L passive filter is used to eliminate harmonic distortion in the generated AC signals. Meanwhile, IoT technology is used to remotely monitor and control the speed of the motor through a mobile application. In this thesis, the design of a flying capacitor multilevel inverter is used as an induction motor speed controller with the resulting Total Harmonic Distortion (THD) can be reduced if you add a level to the inverter. Then, L-C-L passive filter is designed to eliminate harmonic distortion in the generated AC signals. Furthermore, the implementation of IoT technology is carried out using Blynk IoT platform. The test results show that the multilevel inverter with L-C-L passive filter successfully generates AC signals with better quality compare without L-C-L passife filter. In addition, IoT technology is successfully implemented and allows users to remotely monitor and control the speed of the motor through a mobile application. Thus, the use of multilevel inverter with L-C-L passive filter and IoT technology can effectively increase the efficiency and control of single-phase induction motor.

Keywords — Multilevel Inverter, L-C-L Passive Filter, IoT, Induction Motor, Total Harmonic Distortion.

I. PENDAHULUAN

Motor induksi satu fasa merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan dalam aplikasi rumahan dan industri kecil. Namun, masalah yang sering dihadapi dalam penggunaan motor induksi ini adalah fluktuasi kecepatan. Untuk mengatur fluktuasi kecepatan bisa dilakukan dengan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan inverter. Namun inverter masih menghasilkan Total Harmonic Distortion (THD) yang lumayan besar sehingga perlu

digunakannya Multilevel inverter yang mampu menghasilkan output THD yang lebih baik dan dapat dikontrol dengan mudah.

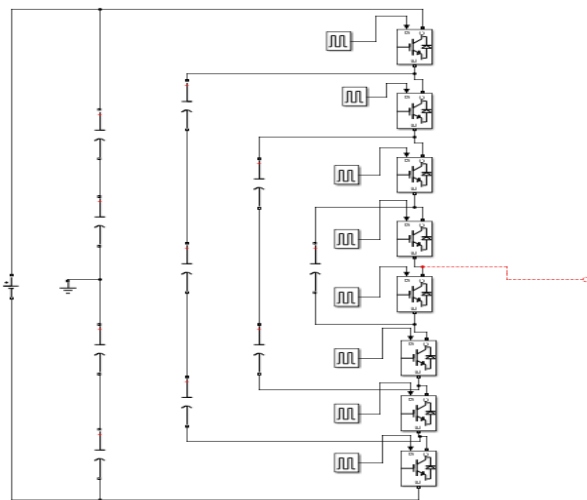
Flying capacitor multilevel inverter (FCMLI) merupakan salah satu jenis multilevel inverter yang saat ini sedang dikembangkan. FCMLI di gunakan untuk menghasilkan THD yang lebih rendah di banding dengan inverter konvensional, filter pasif L-C-L dapat digunakan pada sistem FCMLI yang diharapkan dapat lebih menekan THD yang di hasilkan oleh FCMLI. Selain itu, teknologi Internet of Things (IoT) dapat digunakan untuk memantau perubahan kecepatan motor secara real-time.

Implementasi FCMLI dengan filter pasif L-C-L dan teknologi IoT dapat dilakukan dengan menghubungkan beberapa level inverter secara seri menggunakan flying capacitor. Filter L-C-L digunakan untuk mengurangi harmonisa. Teknologi IoT digunakan untuk memantau kecepatan motor secara real-time dengan menghubungkannya ke jaringan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Flying Capacitor Multilevel Inverter

Flying capacitor multilevel inverter merupakan jenis inverter multilevel yang prinsip kerjanya hampir sama dengan Diode Clamped Multilevel Inverter. keluaran gelombang kotak bertingkat. Multilevel ini dihasilkan dari variasi topologi inverter yang menggunakan kapasitor sebagai suplai tegangan. FCMI dapat dilihat pada gambar 1.



Gbr. 1 Rangkaian Flying Capacitor Multilevel Inverter

Topologi FCMI ini menggunakan satu sumber tegangan DC sebagai supply, mosfet yang berfungsi sebagai media pensaklaran untuk FCMI ini, dan kapasitor yang dimana ada yang berfungsi sebagai menyimpan tegangan dan menjadi balancing pada rangkaian FCMI [4]. FCMI menghasilkan tegangan output sebesar $\frac{1}{2}$ Vdc tegangan sumber.

FCMI merupakan salah satu dari jenis multilevel inverter yang dimana dalam menentukan komponen dalam rangkaian tergantung pada tingkatan yang ingin di

hasilkan (n) dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

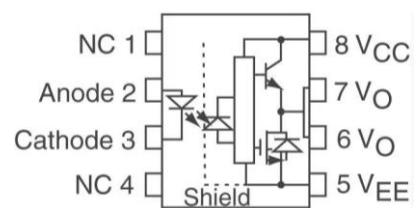
$$\text{Jumlah Capacitor Pengganti Sumber} = (n - 1) \quad (1)$$

$$\text{Jumlah capacitor balancing} = \frac{(n-1)(n-2)}{2} \quad (2)$$

$$\text{Jumlah MOSFET} = (n - 1)2 \quad (3)$$

B. Gate Driver

Gate driver merupakan suatu rangkaian elektronika yang berperan sebagai gerbang pemisah antara driver daya dengan mikrokontroler. Gate driver berfungsi sebagai penguat tegangan pada microcontroller yang pada umumnya sebesar 5V kemudian akan menjadi tegangan yang memicu gate pada saklar daya (MOSFET) sesuai dengan datasheet yang digunakan. Pada gate driver sendiri menggunakan ic dengan tipe HCPL, yaitu dengan menggunakan optocoupler. Optocoupler akan bekerja berdasarkan cahaya optic, dimana terdapat bagian utama dari optocoupler yaitu transmitter yang akan berfungsi sebagai pengirim cahaya optic dan receiver yang berfungsi sebagai pendeteksi sumber cahaya. Masing-masing bagian optocoupler (Transmitter dan receiver) tidak memiliki hubungan konduktif rangkaian secara langsung tetapi dibuat dalam satu kemasan. Berikut rangkaian terpadu pada IC HCPL, yang dapat dilihat pada gambar 2.



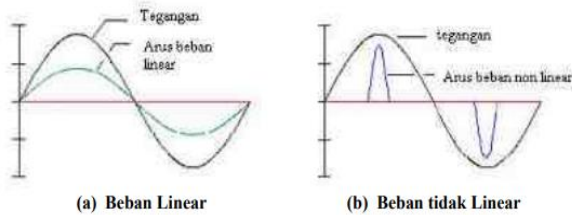
Gbr. 2 Rangkaian IC HCPL 3120

C. Harmonisa

Harmonisa dapat didefinisikan sebagai berikut yaitu cacat gelombang sinus yang terjadi diakibatkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinus sistem dengan gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi inti atau fundamentalnya. Gelombang lain tersebut menumpang pada gelombang aslinya sehingga mengakibatkan bentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah

antara gelombang asli dengan gelombang harmoniknya [10].

Dalam sistem tenaga listrik terdapat dua jenis beban yaitu beban linier dan beban tidak linier. Penggunaan beban tidak linier akan menghasilkan bentuk gelombang arus dan tegangan yang tidak sinusoidal. Akibatnya akan terbentuk gelombang terdistorsi yang akan menghasilkan harmonisa. Perbedaan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh beban linier dan beban tidak linier dapat dilihat pada gambar 3.



Gbr. 3 Gelombang beban linear dan tidak linear

D. Arduino Mega 2560

Mikrokontroler yang dipakai pada penelitian ini adalah arduino mega 2560. Arduino mega 2560 memiliki dimensi ukuran 10 x 5 (cm) dan biasa digunakan untuk menjalankan sistem yang lebih kompleks dan membutuhkan pin digital yang banyak berikut adalah spesifikasi teknis arduino 2560 [3].

- IC ATmega2560
- Pin Digital 54 buah dengan 15 pin PWM
- Pin analog 16
- Pin UART 4
- Oscilator Crystal 16Mhz
- Tombol reset
- Port USB
- Power jack
- ICSP header
- Flash memory 256KB
- SRAM 8KB
- EEPROM 4 KB

Gambar arduino mega 2560 dapat dilihat pada gambar 4.



Gbr.4 Arduino Mega 2560

E. Modul Sensor Kecepatan LM393

Modul sensor kecepatan ini dilengkapi dengan IC LM393 serta sensor optocoupler. Sensor optocoupler bekerja dengan cara mendeteksi perubahan cahaya inframerah. Sensor optocoupler terdiri dari dua bagian utama, yaitu transmitter dan receiver. Bagian transmitter terdiri dari sebuah LED inframerah (IR LED) yang berfungsi untuk mengirim sinyal kepada bagian receiver.

Sementara bagian receiver terdiri dari komponen yang dapat menerima cahaya yang dipancarkan transmitter. Gambar sensor LM393 dapat dilihat pada gambar 5.



Gbr. 5 Modul Sensor Kecepatan LM393

F. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang merujuk pada koneksi dan komunikasi antara berbagai jenis perangkat elektronik melalui internet. IoT memungkinkan perangkat seperti smartphone, mobil, perangkat rumah tangga, dan bahkan sensor di jalan raya untuk terhubung dan berkomunikasi dengan satu sama lain untuk bertukar informasi dan melakukan tugas-tugas tertentu.

III. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) dengan rincian sebagai berikut.

1) Perangkat keras yang digunakan:

- Rangkaian catu daya (power supply)
- Motor Kapasitor Tipe 73134 Class 0.1
- Rangkaian Flying capacitor multilevel inverter (FCMI) 5 Tingkat satu fasa
- Rangkaian Gate driver Mosfet
- Arduino Mega 2560
- Laptop HP 14s-cf0062TU
- Osiloskop digital
- Komponen induktor dan kapasitor untuk filter L-C-L

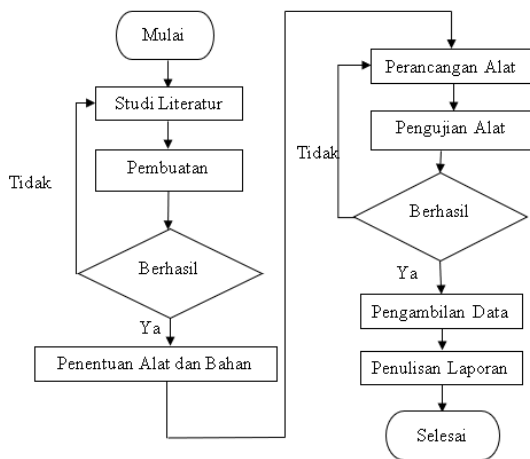
- NodeMCU ESP8266
- Smartphone
- Modul LM393
- Modul ACS712

2) Perangkat lunak yang digunakan, yaitu:

- *Matlab 2019a*
- *Eagle*
- *Microsoft Office 2019*
- *Arduino IDE*
- *Blynk*

B. Diagram Alir Penelitian

Penyelesaian tugas akhir dilakukan dalam beberapa tahap, secara umum tahap tahap tersebut dijelaskan pada gambar 6.



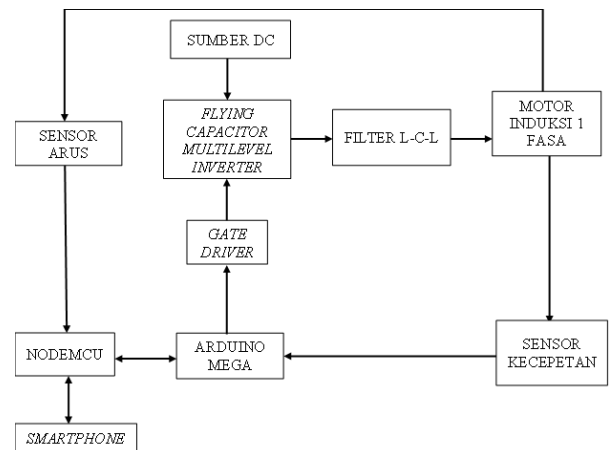
Gbr. 6 Diagram Alir Penelitian

C. Diagram Blok

Ketika arduino memberikan trigger ke rangkaian gate driver yang kemudian ke rangkaian multilevel inverter, maka multilevel inverter akan melakukan pengaturan dengan mengubah nilai frekuensi. Tegangan satu fasa yang dihasilkan multilevel inverter akan masuk ke filter yang kemudian akan ke beban motor. Lalu pengaturan kecepatan motor akan dilakukan berdasarkan frekuensi yang dapat diubah-ubah yang diberikan oleh multilevel inverter.

Motor induksi 1 fasa menghasilkan arus yang di kirimkan ke sensor arus yang lalu mengirimkan data yang sudah di olah ke nodeMCU yang selanjutnya data dikirimkan ke smartphone dan menghasilkan kecepatan yang dikirimkan ke sensor kecepatan yang lalu dikirimkan lagi data yang sudah di olah ke Arduino

Mega dan dikirimkan lagi ke nodeMCU untuk dikirimkan ke smartphone. Diagram blok perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 7.



Gbr. 7 Diagram Blok

D. Perancangan Rangkaian Flying Capacitor Multilevel Inverter (FCMI) 5 Tingkat Satu Fasa

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah rangkaian inverter dengan jenis Flying capacitor multilevel inverter 5 tingkat. Pada rangkaian inverter tersebut dibutuhkan beberapa komponen penyusun antara lain yaitu, mosfet IRP460 sebanyak 8 buah, kapasitor 3300 uF sebanyak 10 buah dan sumber DC 36 Volt sebanyak 1 buah yang di hasilkan dari 3 buah Aki 12 V yang di seri.

Cara menentukan nilai kapasitor pada FCMI:

$$V_{rms} = \frac{36}{2\sqrt{2}}$$

$$V_{rms} = 12.7 \text{ V}$$

$$P_n = V \times I$$

$$P_n = 36 \times 5$$

$$P_n = 180 \text{ W}$$

$$Z_b = \frac{V_{rms}^2}{P_n}$$

$$Z_b = \frac{12.7^2}{180}$$

$$Z_b = 0.9 \Omega$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_b Z_b}$$

$$C_b = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 0.9}$$

$$C_b = 3539 \text{ uF} \approx 3300 \text{ uF}$$

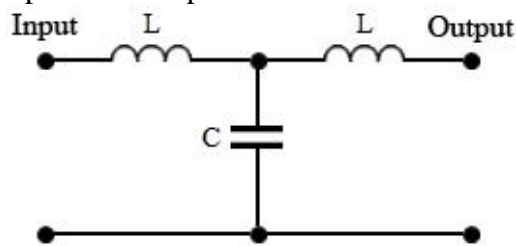
Karena menyesuaikan yang ada dipasaran maka menggunakan 3300 uF. Perhitungan untuk kapasitor pada rangkaian inverter. Adapun urutan pensaklaran rangkaian Flying capacitor multilevel inverter 5 tingkat yang akan dibuat. pada masing-masing mosfet ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Kondisi Pensaklaran Mosfet pada rangkaian FCMI

V_{Ac}	Kondisi Mosfet							
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
0	1	1	0	0	1	1	0	0
$\frac{1}{4}V_{dc}$	1	1	1	0	1	0	0	0
$\frac{1}{2}V_{dc}$	1	1	1	1	0	0	0	0
$\frac{3}{4}V_{dc}$	1	1	1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0
$-\frac{1}{4}V_{dc}$	1	0	0	0	1	1	1	0
$-\frac{1}{2}V_{dc}$	0	0	0	0	1	1	1	1
$-\frac{3}{4}V_{dc}$	1	0	0	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0

E. Perancangan Rangkaian Filter L-C-L

Pada penelitian ini akan dibuat rangkaian filter pasif dengan jenis filter pasif LCL. Pada rangkaian filter ini di perlukan komponen penyusun berupa 1 buah kapasitor 470 uF dan 2 buah induktor yang dimana 1 buah induktor 0,5 mH disisi input lalu 1 buah induktor 33 uH di sisi output sesuai seperti Gambar 8.



Gbr. 8 Rangkain Filter L-C-L

Penentuan komponen tersebut berdasarkan perhitungan yang akan dijabarkan di Bawah ini:

Hitung kapasitor filter :

$$C_f = x.C_b \quad (4)$$

$$C_f = 0.1 (3539)$$

$$C_f = 353.9 \text{ uF} \approx 470 \text{ uF}$$

Karena menyesuaikan yang ada dipasaran maka menggunakan 470 uF

Hitung arus ΔIL_{max} :

$$I_{max} = \frac{P_n \sqrt{2}}{3 V_{rms}} \quad (5)$$

$$I_{max} = \frac{180 \sqrt{2}}{3 (12,7)}$$

$$I_{max} = 6,7 \text{ A}$$

$$\Delta IL_{max} = a. I_{max}$$

$$\Delta IL_{max} = 0,1 (6,7)$$

$$\Delta IL_{max} = 0,67 \text{ A}$$

Hitung induktor sisi input :

$$L_1 = \frac{0,18 V_{dc}}{3 F_{sw} \Delta IL_{max}} \quad (6)$$

$$L_1 = \frac{0,18 (36)}{3 (6.150)(0.67)}$$

$$L_1 = \frac{6,48}{12.361,5}$$

$$L_1 = 0,5 \text{ mH}$$

Hitung induktor sisi output :

$$L_2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{(ka)^2} + 1}}{C_f \cdot (\omega_{sw})^2} \quad (7)$$

$$L_2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{(0,1)^2} + 1}}{353,9 \times 10^{-6} \cdot (2 \times 3,14 \times 6150)^2}$$

$$L_2 = \frac{11}{527.898,1}$$

$$L_2 = 21 \text{ uH} \approx 33 \text{ uH}$$

Karena menyesuaikan yang ada dipasaran maka menggunakan 33 uH

F. Perancangan Pemantauan Berbasis IoT (Internet of Things)

Proses monitoring pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan akses internet sehingga proses monitoring dapat dilakukan dari mana saja selama dapat terkoneksi dengan internet. Pada penelitian ini memanfaatkan sebuah platform IoT yaitu Blynk yang digunakan untuk mengakses data monitoring. Platform Blynk dapat diakses dari berbagai perangkat yang menyediakan aplikasi untuk mengakses Blynk. Blynk akan terkoneksi dengan board NodeMCU melalui jaringan internet sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara realtime. Berikut merupakan interface pada platform Blynk ditunjukkan pada gambar 9.



Gbr. 9 Interface Pada Platform Blynk

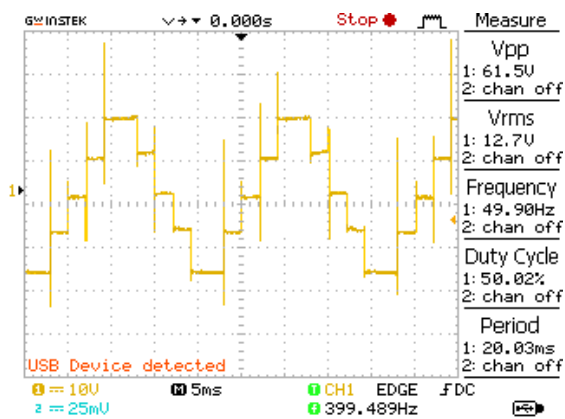
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Flying Capacitor Multilevel Inverter 5 tingkat Satu Fasa

Pengujian dilakukan untuk melihat gelombang dan tegangan output yang dihasilkan. Pengambilan data menggunakan osiloskop.

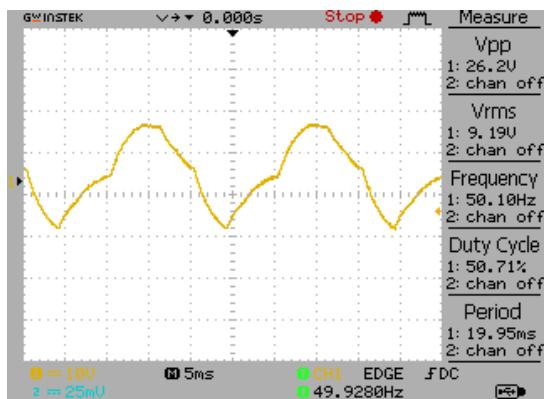
1) Pengujian tanpa filter LCL

Pengujian menggunakan masukan yang sama tanpa menggunakan filter yaitu frekuensi 50 Hz dan tegangan 36 VDC. Hasil gelombang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gbr. 10 Gelombang Keluaran Tanpa Filter LCL

Pengujian menggunakan masukan yang sama dengan menggunakan filter yaitu frekuensi 50,10 Hz dan tegangan 36 VDC. Hasil gelombang dapat dilihat pada Gambar 11.



Gbr. 11 Gelombang Keluaran Menggunakan Filter LCL

Penyebab tegangan turun pada keluaran menggunakan filter LCL dikarenakan komponen yang digunakan menyesuaikan yang ada dipasar dan menghasilkan yang

tidak sempurna dan dapat dibuktikan dengan rumus berikut.

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times XC}{\sqrt{XC^2 + (XL - XC)^2}} \quad (8)$$

$$XC = \frac{1}{(2 \times 3,14 \times F \times 47 \times 10^{-5} F)}$$

$$XL = 2 \times 3,14 \times F \times 0,533 \times 10^{-3} H$$

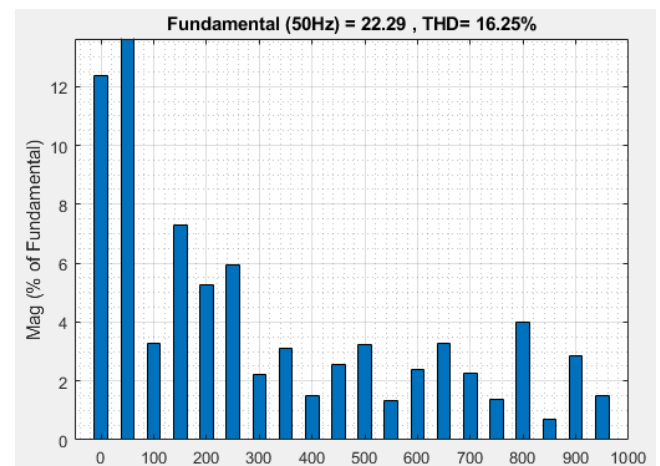
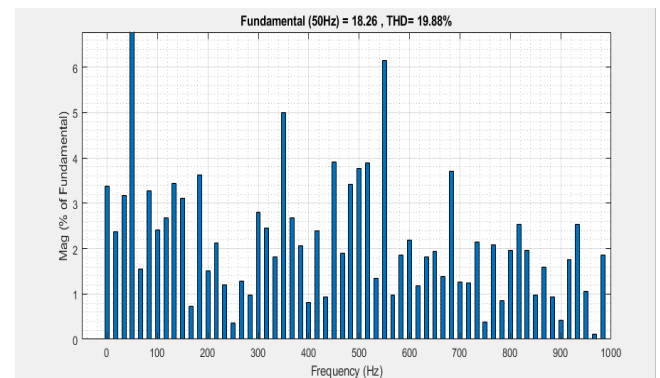
$$XC \text{ 50 Hz} = \frac{1}{(2 \times 3,14 \times 50 \times 47 \times 10^{-5} F)} = 6,78 \Omega$$

$$XL \text{ 50Hz} = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,533 \times 10^{-3} H = 0,17 \Omega$$

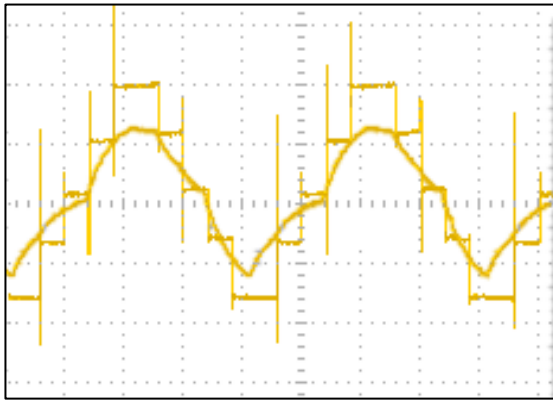
$$V_{out} \text{ 50 Hz} = \frac{12,7 \times 6,78}{\sqrt{6,78^2 + (0,17 - 6,78)^2}} = \frac{86,11}{\sqrt{46 + 43,7}} = \frac{86,11}{9,5} = 9,1 \text{ V}$$

B. Perbandingan Gelombang Output

Perbandingan gelombang pada frekuensi 50 Hz dengan menggunakan filter dan tanpa filter dapat di perhatikan penurunan THD 19,88% menjadi 16,25%. Hasil perbedaan gelombang dan THD dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gbr. 12 Perbandingan total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 50 hz



Gbr. 13 Gelombang Output Perbandingan dengan filter dan tanpa filter pada 50 Hz

C. Pengujian Kecepatan Motor

Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan pada sistem flying capacitor multilevel inverter 5 tingkat, Dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui bahwa hubungan antara perubahan frekuensi terhadap kecepatan motor adalah berbanding lurus, dimana ketika frekuensi semakin besar maka motor akan berputar semakin cepat. Pada penelitian ini kecepatan yang di hasilkan tidak sesuai dengan rumus dikarenakan ada beberapa faktor salah satunya sensor kecepatan yang digunakan masih kurang dalam tingkat ke presisiannya.

Adapun data hasil pengujian pengaruh frekuensi terhadap kecepatan motor dan terjadinya error nilai kecepatan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil kecepatan motor induksi dan error pada masing-masing frekuensi

Frekuensi (Hz)	Kecepatan Pengujian (RPM)	Kecepatan Perhitungan (RPM)	Error (%)
40	1227	1200	2,25
45	1352	1350	0,15
50	1508	1500	0,5
55	1622	1650	1,7
60	1795	1800	0,3

D. Pengujian Sensor Arus

Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan pada sistem flying capacitor multilevel inverter 5 tingkat. Dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui bahwa hubungan antara Frekuensi terhadap arus motor adalah berbanding terbalik, dimana ketika Frekuensi semakin besar maka arus motor akan semakin kecil.

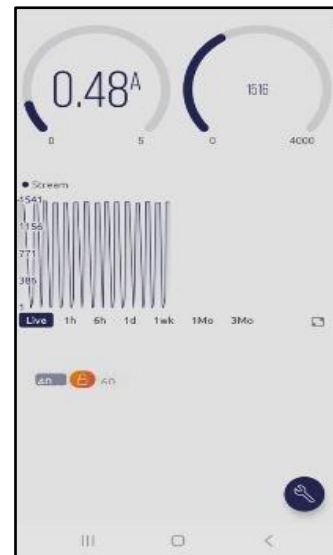
Adapun data hasil dan grafik hasil pengujian pengaruh frekuensi terhadap arus motor yang diserap ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Data hasil arus motor induksi pada masing-masing frekuensi

Frekuensi (Hz)	Arus (Ampere)
40	0.55
45	0.53
50	0.49
55	0.47
60	0.45

E. Pengujian Aplikasi Smartphone

Pengujian aplikasi smartphone dilakukan dengan melakukan proses monitoring kecepatan dan arus yang diserap motor induksi. Adapun widget-widget yang terdapat pada aplikasi yang telah dirancang adalah segmented switch, gauge, dan SuperChart. Adapun hasil pengujian aplikasi smartphone ditujukan pada Gambar 14.



Gbr.14 Tampilan monitoring kecepatan dan arus motor induksi pada platform Blynk

V. KESIMPULAN

Pada percobaan yang dilakukan dapat dilihat bahwa perubahan nilai frekuensi pada proses switching inverter berhasil mengendalikan kecepatan motor induksi, pada percobaan yang dilakukan dapat dilihat bahwa perubahan nilai frekuensi pada proses switching inverter berhasil mengendalikan kecepatan motor induksi, dimana hubungan antara frekuensi dan kecepatan motor induksi berbanding lurus sebaliknya hubungan frekuensi dan arus berbanding terbalik.

Dapat dilihat penurunan THD pada hasil gelombang tanpa menggunakan filter dan pada saat menggunakan filter. Sistem monitoring berhasil dilakukan secara real time yang berbasis IoT sehingga dapat dilakukan monitoring dari mana saja selama dapat terkoneksi dengan internet.

- [10] Kamran Jalili and Steffen Bernet, "Design of LCL Filters of ActiveFront-End Two-Level Voltage-Source Converters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 5, May 2009

REFRENSI

- [1] Khadse, S., Mendole, R. and Pandey, A. (2017) 'A 5-Level Single Phase Flying capacitor multilevel Inverter', International Research Journal of Engineering and Technology(IRJET), 4(2), pp. 336–352.
- [2] D. W. Hart, Power Electronics, Valparaiso, Indiana: Mc Graw Hill, 2010
- [3] Anonim, "Arduino Mega 2560 rev3", Arduino Store, [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. [Diakses 30 September 2020]
- [4] N. Soedjarwanto, O. Zebua, M. H. Lazuardy, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Multilevel Inverter Dengan Mengatur Frekuensi," Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan, Vol. 03, ISSN: 2581-0049, 2019
- [5] Y. Tang, P. C. Loh, P. Wang and F. H. Choo, "Generalized Design of High Performance Shunt Active Power Filter with Output LCL Filter," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 59, no. 3, pp. 1443– 1452, 2012.
- [6] A. Reznik, M. Simoes, A. Aldurra and S. Mueen, "LCL Filter Design and Performance Analysis for Small Wind Turbine Systems," in IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications (PEMWA), pp.1– 7, 2012
- [7] Fei Liu, Yan Zhou, Shanxu Duan, Jinjun Yin, Bangyin Liu and Fangrui Liu, "Parameter Design of a Two-Current-Loop Controller Used in a Grid-Connected Inverter System With LCL Filter," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 11, November 2009.
- [8] M. Liserre, F. Blaabjerg, S. Hansen, "Design and Control of an LCLFilter-Based Three-Phase Active Rectifier" in IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 41, no. 5, 2005.
- [9] Adzim, M. S. (2018). Perancangan Sistem Kendali Otomatis Smart Home Berbasis Android Menggunakan Teknologi Wifi (Esp8266) Dan Arduino Uno. Skripsi STIMIK Batam.