

PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN PADA MOBIL LISTRIK DENGAN PENGGERAK MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Kristianti Eka Palupi^{*}, Tejo Sukmadi dan Denis

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}E-mail: kristiantipalupi@students.undip.ac.id

Abstrak

VFD (*Variable Frequency Drive*) dapat melakukan pengontrolan pada motor mulai dari motor dinyalakan sampai dengan motor dimatikan merupakan kelebihan yang tidak dimiliki metode starting motor lainnya. Sehingga pengguna dapat mengatur kendali motor melalui VSD mulai dari mengatur putaran motor, pengaturan putaran balik motor, dan lain-lain. Pada penelitian ini digunakan VFD tipe TOSVERT VF-S15-2015PM-W sebagai pengontrol kecepatan motor induksi tiga fasa pada sistem penggerak purwarupa mobil listrik. Sistem yang dibuat juga dilengkapi dengan sensor kecepatan untuk memonitoring kecepatan mobil. Sensor yang digunakan adalah sensor dengan tipe KY 003 yang menggunakan prinsip kerja efek hall. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada motor induksi tiga fasa didapatkan hasil bahwa kecepatan, tegangan, daya motor induksi tiga fasa berbanding lurus dengan frekuensi operasi yang diatur pada VFD.

Kata kunci: VFD, Mobil Listrik, sensor efek hall

Abstract

VFD (*Variable Frequency Drive*) can control the motor starting from when the motor is turned on until the motor is turned off, which is an advantage that other motor starting methods do not have. So that users can adjust motor control via VSD starting from regulating motor rotation, setting motor rotation, and others. In this study, the VFD type TOSVERT VF-S15-2015PM-W was used as a three-phase induction motor speed controller in an electric car prototype drive system. The system made is also equipped with a speed sensor to monitor the speed of the car. The sensor used is a KY 003 type sensor that uses the hall effect working principle. From the results of tests carried out on a three-phase induction motor, the results show that the speed, voltage, and power of the three-phase induction motor are directly proportional to the operating frequency set on the VFD.

Keywords: VFD, Electric Vehicle, Hall effect sensor

1. Pendahuluan

Pencemaran udara oleh berbagai teknologi yang menghasilkan emisi karbon dioksida seperti kendaraan bermotor dan pabrik-pabrik telah merusak sistem lapisan ozon yang pada akhirnya menimbulkan pemanasan global. Pemanasan global merupakan peristiwa proses meningkatnya suhu rata-rata pada lapisan atmosfer dan permukaan bumi yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca [1]

Upaya pemerintah dalam mengurangi peningkatan pencemaran udara adalah dengan mengeluarkan Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019. “Bahwa untuk peningkatan efisiensi energi, ketahanan energi, dan konservasi energi sektor transportasi, dan terwujudnya energi bersih, kualitas udara bersih dan ramah lingkungan, serta komitmen Indonesia menurunkan emisi gas rumah kaca, perlu mendorong percepatan program kendaraan bermotor

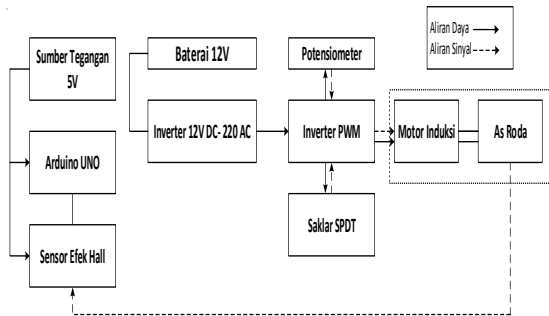
listrik berbasis baterai (*battery electric vehicle*) untuk transportasi jalan” [2]

Agar mobil listrik bekerja dengan baik, maka harus memiliki sistem mekanik maupun elektronik. Sistem mekanik adalah sistem yang berhubungan dengan casis, sistem gas dan pengereman. Sistem elektronik adalah sistem yang berhubungan dengan penunjang pergerakan pada mobil listrik, penampilan informasi dengan menggunakan *display LCD* [3].

Penggunaan motor induksi sebagai sumber penggerak mobil listrik memiliki kelebihan dibanding jenis motor listrik lainnya diantaranya konstruksi yang kuat dan sederhana, harga yang lebih murah, efisiensi tinggi pada keadaan normal serta tidak membutuhkan perawatan yang sulit [4]. Motor induksi tiga fasa menggunakan arus bolak-balik serta membutuhkan suplai tegangan tiga fasa yang stabil dalam proses kerjanya [5].

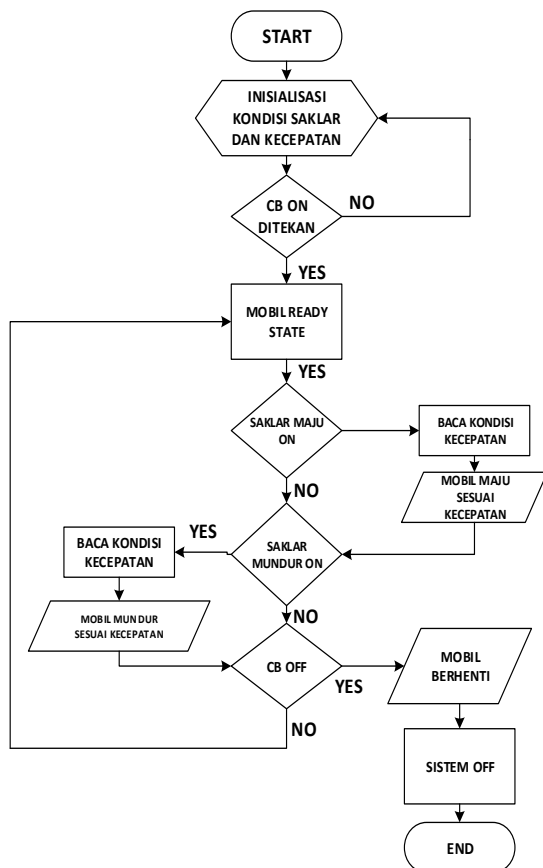
2. Metode

Perancangan Penelitian ini terdiri dari blok sistem, diagram alir, perancangan sistem mekanik, sistem kontrol kecepatan dan sensor efek hall



Gambar 1. Blok Diagram Alat

2.1. Diagram Alir (Flow Chart) Sistem



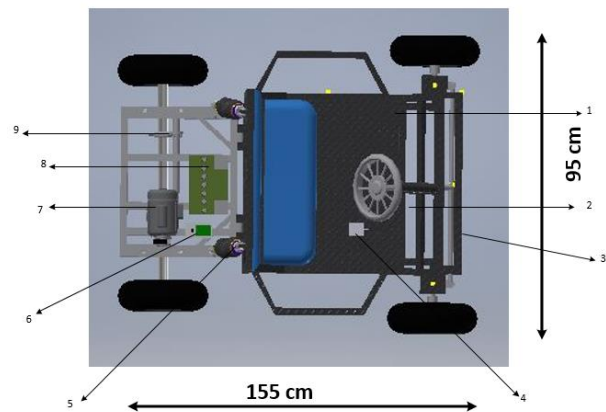
Gambar 2. Diagram Alir (Flow Chart) Sistem

Penjelasan dari proses gambar 2 yaitu pada saat sistem dihidupkan atau CB di ON kan mobil dalam keadaan *readystate*, kemudian inialisasi kondisi saklar maju atau

mundur, setelah saklar maju ditekan maka set point kecepatan motor (mengatur kecepatan) dan mobil bergerak maju. Tetapi jika ingin mobil bergerak mundur maka saklar harus diposisi netral terlebih dahulu kemudian baru saklar mundur di tekan maka motor akan berputar sesuai set point kecepatan yang ditentukan dan bergerak mundur [6].

2.2. Perancangan Sistem Mekanik Mobil Listrik

Pada mobil listrik dibutuhkan sebuah rangka *chassis* yang berfungsi sebagai penopang semua beban yang ada pada kendaraan, untuk sebuah konstruksi rangka *chassis* itu sendiri harus memiliki kekuatan, ringan dan mempunyai nilai kelenturan. Rangka merupakan struktur yang ujung-ujungnya disambung kaku (las) [7]. Semua batang yang disambung secara kaku (jepit) mampu menahan gaya aksial, gaya normal, dan momen. Sedangkan *chassis* itu sendiri terdiri dari rangka, mesin, pemindah tenaga, sistem kemudi, sistem suspensi, sistem rem dan kelengkapan lainnya [8].



Gambar 3. Desain Model 3D Chassis

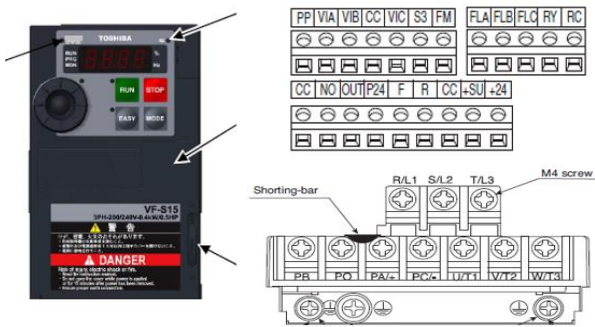
Keterangan :

1. Pedal Rem.
2. Panel kemudi, berisi rangkaian kemudi, sistem monitoring.
3. Inverter PWM TOSVERT.
4. Pedal gas (pengaplikasian potensio sebagai pengatur frekuensi).
5. *Double Shockbreaker*.
6. Inverter DC to AC, berfungsi mengubah DC 12 V menjadi AC 220 V dari akumulator.
7. Motor induksi 3 fasa yang dikopel dengan as roda menggunakan rantai.
8. Akumulator 12 V 65 Ah.
9. Rem cakram.

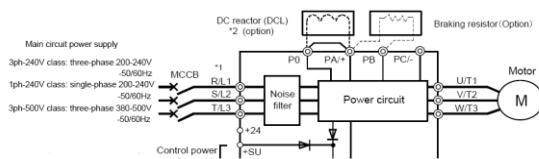
2.3. Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan

Pada tampilan depan terdapat LED *display* untuk menampilkan parameter pada *inverter*, serta *setting dial*

untuk mengubah parameter yang diinginkan dengan menggeser kearah kanan dan kiri. Terminal pada inverter dibagi menjadi 2 kelompok , bagian terminal rangkaian daya dan terminal rangkaian kontrol. Terminal rangkaian daya berisi terminal *input supply* daya baik satu fasa maupun tiga fasa, terminal *grounding*, serta terminal output menuju motor tiga fasa berikut merupakan fungsi dari masing masing termin [9].

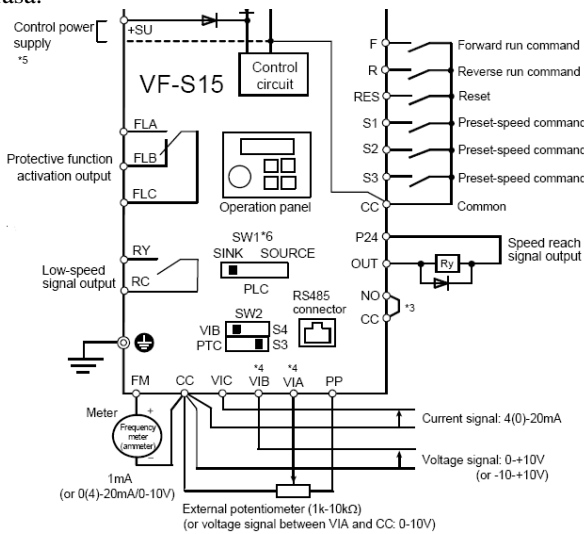


Gambar 4 Terminal Penyambungan Motor



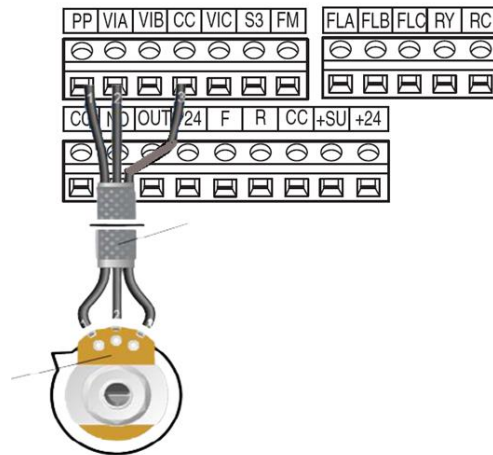
Gambar 5. Rangkaian Penyambungan Motor

Pada terminal rangkaian daya terdapat 2 opsi masukan yaitu 1 fasa dan 3 fasa. Untuk masukan 1 fasa, terminal yang dapat digunakan adalah R/L1 dan S/L2 sedangkan T/L3 tidak mendukung pada pemakaian dengan sumber 1 fasa.



Gambar 6. Diagram penyambungan pada terminal rangkaian kontrol

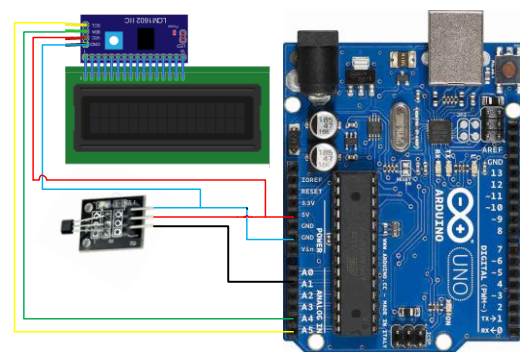
Pada terminal rangkaian kontrol terdapat *control circuit* yang terhubung dengan *power circuit*, yang mana *power circuit* berfungsi sebagai suplai daya dan penerima keluaran dari *control circuit*. Pada terminal ini juga terdapat terminal untuk mensuplai daya dari luar sebagai cadangan untuk suplai daya *control circuit*. Untuk *input logic* terminal pada inverter ini terdapat beberapa port yang juga mendukung untuk pemakaian input menggunakan eksternal potensiometer [10].



Gambar 7. Wiring pengaturan kecepatan

Pengatur kecepatan putar motor pada mobil listrik dilakukan menggunakan inverter dengan cara merubah nilai frekuensi pada inverter. Di dalam inverter frekuensi keluaran dapat diatur melalui dua cara yaitu melalui metode analog dan metode digital. Pada metode digital frekuensi keluaran inverter di atur melalui *setting dial* inverter. Sedangkan pada metode analog frekuensi keluaran inverter diatur melalui terminal input analog yaitu CC, VIA, dan PP. Pada mobil listrik potensiometer yang digunakan sudah di buat sedemikian rupa agar prinsip kerjanya seperti pedal gas pada mobil umumnya [11].

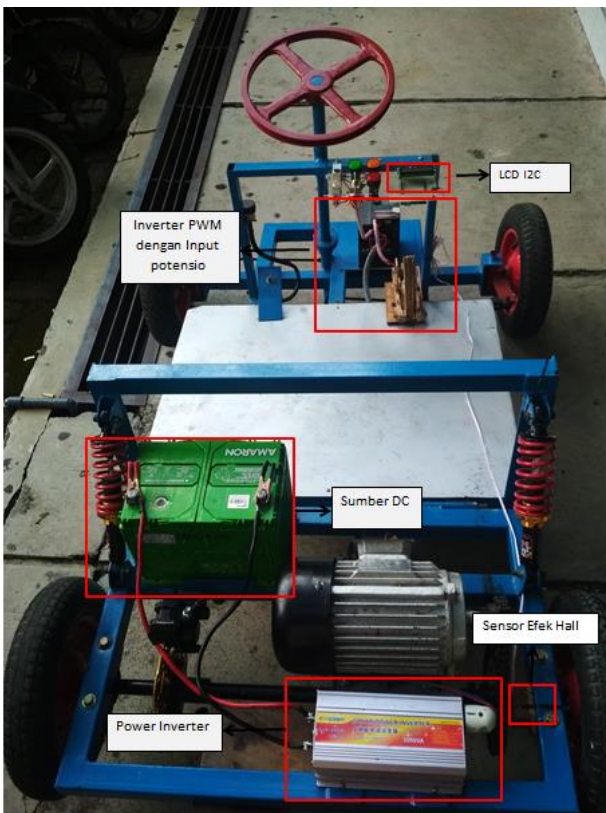
2.4. Sensor Efek Hall



Gambar 8. Diagram penyambungan sensor efek hall

Dari gambar 8. diagram penyambungan dari sensor efek hall dimana 3 kaki dari sensor di hubungkan dengan arduino uno r3 dimana pin “+” sensor efek hall dihubungkan pin sumber VCC arduino 5 V, pin “-“ sensor dihubungkan dengan pin GND arduino, serta pin input sinyal “S” sensor dihubungkan dengan pin analog A1. Sedangkan untuk I2C LCD masing masing pin yang dihubungkan adalah pin GND I2C dihubungkan dengan pin GND arduino, pin VCC I2C dihubungkan dengan pin 5V arduino, pin SDA I2C dihubungkan dengan pin A4 arduino, dan untuk pin SCL I2C dihubungkan dengan pin A5 arduino [11].

2.5. Purwarupa Mobil Listrik



Gambar 9. Tampak Keseluruhan Purwarupa Mobil Listrik

Pada gambar 9 telah terpasang seluruh sistem dengan bahan dari *chassis* nya adalah besi. Sistem penggerak dari purwarupa mobil listrik diletakan pada bagian belakang dimana hampir semua beban yang berat diletakan berdekatan dengan sistem penggerak seperti baterai, motor dan inverter. Peletakan piringan cakram diletakan pada sisi kiri as roda agar memudahkan ketika proses pengereman.

Pada *board* pengendalian MCB mendapat catu daya dari tegangan 1 fasa. Pengaturan arah putaran motor ditentukan oleh switch, apabila switch maju maka lampu kuning menyala. Apabila switch mundur maka lampu merah menyala. Layar monitor kecepatan dan baterai

terletak pada bagian ini pula agar memudahkan ketika mengendarai [12].

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pegujian Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras meliputi pengujian pengujian catu daya, konsumsi penggunaan baterai. Pengujian catu daya dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus yang mengalir [13]. Pengujian *duty cycle* dilakukan dengan mengukur keluaran PWM dari inverter.

3.1.1. Pengujian Catu Daya Satu Fasa

Tabel 1. Pengujian sumber tegangan AC satu fasa

Tegangan (V)	Arus (A)
229,8	0,93
230	0,93
230,1	0,92

Pada Tabel 1. Keluaran tegangan pada keluaran power inverter memiliki nilai tegangan yang rata-rata 229,5 V dengan nilai arus rata rata 0,925 A. Nilai ini telah memenuhi untuk catu daya 1 fasa dimana batas nilai tegangan mendekati nilai 230 V.



Gambar 10. Gelombang keluaran inverter DC to AC satu fasa

Pada gambar 10 dapat diketahui bahwa bentuk tegangan keluaran inverter tidak murni gelombang sinus dikarenakan power inverter yang digunakan adalah power inverter jenis MSW (*modified sine wave*).

3.1.2. Pengujian Catu Daya Tiga Fasa

Nilai ketidakseimbangan tegangan tersebut dapat dihitung untuk memperkirakan nilai ketidakseimbangan sumber tegangan tiga fasa yang terukur dapat ditoleransi atau tidak. Nilai ketidakseimbangan tegangan dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\text{Ketidakseimbangan Tegangan}}{\text{Deviasi Maksimal dari Rata - Rata}} = \frac{\text{Rata - Rata}}{\text{Rata - Rata}} \quad (1)$$

Tabel 2. Perhitungan deviasi tegangan line to line

Parameter	Nilai	Deviasi dari Rata - Rata
Tegangan R – S	386,25 V	1,45 V
Tegangan S – T	384,7 V	0,1 V
Tegangan T – R	383,5 V	1,3 V
Nilai Maksimal	386,25 V	1,45 V
Rata – Rata	384,8 V	0,95 V

Dari data perhitungan pada tabel 2, dapat diketahui bahwa nilai rata – rata tegangan tiga fasa adalah 384,8 V dan nilai deviasi maksimal dari tegangan tiga fasa adalah 1,45 V. Berdasarkan persamaan (1), maka ketidakseimbangan tegangan tiga fasa line to line adalah 0,0037 atau 0,39%.

Berdasarkan standar NEMA MG-1-1998 tentang mesin listrik, tegangan tiga fasa yang digunakan sumber tegangan mesin listrik hanya diperbolehkan memiliki ketidakseimbangan sebesar 1%. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan tiga fasa line to line dan tegangan line to netral yang sudah diukur, dapat digunakan untuk sumber tegangan motor induksi tiga fasa.

3.1.3. Pengujian Daya Beban Motor Induksi

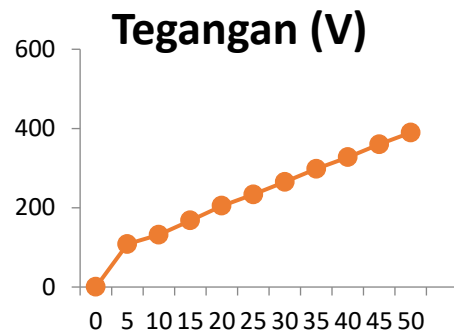
Pengukuran besar konsumsi daya motor dilakukan untuk melihat berapa banyak daya yang terpakai ketika motor dikenai nilai frekuensi yang berbeda-beda. Dalam mengumpulkan data beban daya motor dilakukan pengukuran tegangan dan arus serta nilai cosphi pada sisi beban motor [14]. Spesifikasi motor induksi yang dipakai adalah motor induksi tiga fasa 2,2 kW.

Dalam pengujian nilai variabel tetap yang dipakai adalah frekuensi. Nilai daya motor diperoleh dari persamaan 2

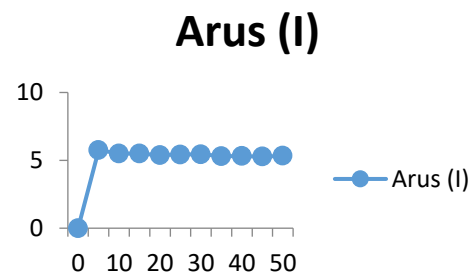
$$P = V \cdot I \cdot \text{Cos}\varphi \quad (2)$$

Pada pengujian dilakukan 10 variabel frekuensi berbeda, dari data pengujian didapat data meliputi tegangan, arus, cosphi dan daya pada motor.

Dari gambar 11. ketika frekuensi 5 Hz nilai tegangan pada motor terukur 108,08 V. Ketika nilai frekuensi 25 Hz nilai tegangan terukur 233,39 V. Ketika frekuensi maksimal 50 Hz nilai tegangan 389,7 V. Dari grafik dapat terlihat bahwa nilai tegangan naik seiring bertambahnya nilai frekuensi yang dikenakan pada motor induksi. Nilai ini sudah sesuai dengan standar tegangan tiga fasa dimana, ketika frekuensi maksimal nilai tegangan mendekati nilai 380 V.



Gambar 11. Grafik perubahan tegangan motor terhadap frekuensi



Gambar 12. Grafik perubahan arus motor terhadap frekuensi

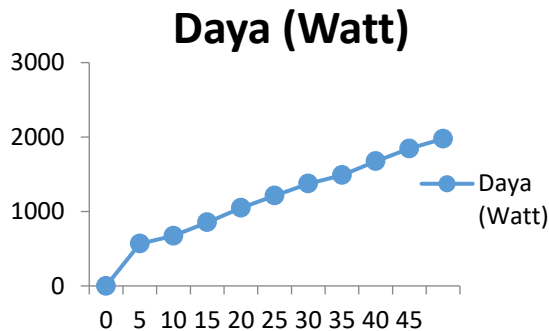
Ketika frekuensi 5 Hz arus yang terukur pada motor 5,75 A, frekuensi 25 Hz arus 5,43 A, dan ketika frekuensi 50 Hz nilai arus 5,34 A. Dari gambar 12 didapat nilai arus yang hampir konstan dimana pada setiap kenaikan frekuensi rentang nilai arus berada pada nilai 5. Hal ini menunjukkan frekuensi berpengaruh pada nilai tegangan tetapi tidak berpengaruh pada arus.

Tabel 3. Konsumsi daya motor

Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)	Arus (A)	Cos Phi	Daya Motor (W)
5	108,08	5,75	0,417	568,01
10	131,63	5,5	0,376	673,3
15	167,9	5,49	0,385	854,5
20	204,71	5,39	0,318	1048,2
25	233,39	5,43	0,292	1212,81
30	265,14	5,44	0,312	1373,12
35	297,9	5,31	0,345	1488,5
40	327,36	5,32	0,277	1673
45	360,08	5,28	0,24	1844,18
50	389,7	5,34	0,305	1976,95

Ketika frekuensi 5 Hz daya pada motor 568,01 Watt, frekuensi 25 Hz daya pada motor 1212,8 Watt, sedangkan ketika frekuensi maksimal 50 Hz nilai daya motor adalah 1976 Watt. Dari gambar 13 dapat dilihat bahwa nilai kenaikan frekuensi berbanding lurus dengan kenaikan daya. Nilai daya motor ketika keadaan frekuensi

maksimum juga telah mendekati nilai rating motor, dimana nilai rating motor bernilai 2200 Watt.



Gambar 13. Grafik perubahan daya motor terhadap frekuensi

3.2. Pengujian Perangkat Lunak

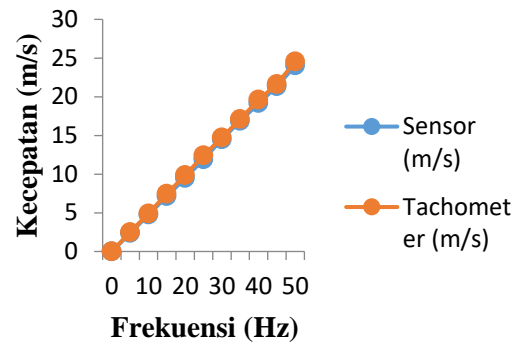
3.2.1. Pengujian Sensor Kecepatan

Pengujian sensor kecepatan dilakukan pada keadaan tak berbeban dengan parameter frekuensi yang sama. Pengujian pembacaan sensor dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan pembacaan pada tachometer.

Tabel 4. Pengujian sensor kecepatan

Frekuensi (F)	Sensor (m/s)	Tachometer (m/s)
0	0	0
5	2,38	2,5
10	4,75	4,9
15	7,15	7,45
20	9,5	9,87
25	11,9	12,40
30	14,49	14,72
35	16,87	17,12
40	19,16	19,61
45	21,34	21,61
50	24,05	24,56

Pengujian dilakukan dengan menggunakan 10 skala frekuensi yang berbeda. Pada pengaturan frekuensi 5 Hz Pembacaan sensor 2,38 m/s, sedangkan pada tachometer 2,5 m/s. Ketika frekuensi 30 Hz pembacaan kecepatan pada sensor bernilai 14,49 m/s, sedangkan pada tachometer membaca sebesar 15,4 m/s. Dari data yang telah diperoleh didapatkan bahwa dari hasil pembacaan sensor dan tachometer memiliki nilai galat rata-rata sebesar 0,315.



Gambar 14. Grafik pengujian sensor efek hall

Dari gambar 14 dapat dilihat grafik pembacaan sensor dan tachometer memiliki nilai perbedaan yang sedikit, ini dibuktikan dengan nilai rata-rata galatnya sebesar 0,315. Hal ini dikarenakan pada pembacaan sensor menggunakan magnet, dimana luas permukaan dari magnet tersebut juga berpengaruh pada nilai pembacaan jaraknya.

3.2.2. Pengujian Duty Cycle inverter PWM

Pengujian dilakukan dengan melakukan pembacaan sinyal pwm yang keluar dari inverter melalui osiloskop dan respon dari kecepatan motor menggunakan sensor.

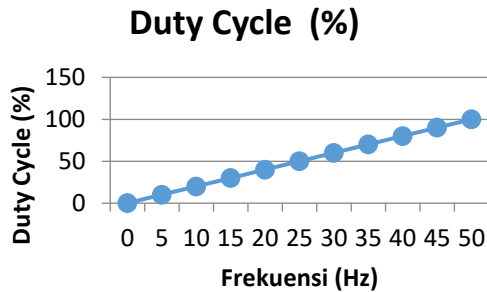
Pengujian sinyal pwm dari inverter dilakukan dengan menggunakan osiloskop pada pin keluaran pwm dari inverter. Duty cycle dan lebar pulsa dianalisa terhadap variasi yang diuji [15].

Pengujian sinyal keluaran pwm dilakukan dengan cara mengukur lebar pulsa positif atau kondisi saat logika high melalui osiloskop. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan variasi input berdasarkan nilai frekuensi. Variasi kontrol yang diberikan yaitu dengan nilai frekuensi 0,5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50. Nilai frekuensi 0 merupakan nilai minimal dan nilai frekuensi 50 merupakan nilai maksimal dari PWM yang digunakan.

Tabel 5. Pengujian duty cycle

PWM (0-50)	Duty Cycle (%)
0	0
5	10
10	20
15	30
20	40
25	50
30	60
35	70
40	80
45	90
50	100

Berdasarkan data hasil pengukuran pada tabel 5. dapat dilihat *duty cycle* pada sinyal keluaran pwm inverter mengalami perubahan secara linear terhadap perubahan sinyal *input* pwm.



Gambar 15. Pengujian *Duty Cycle*

3.3. Pengujian Kecepatan Mobil

Nilai kecepatan putar dapat dihitung untuk memperkirakan nilai kecepatan motor terukur telah sesuai atau tidak. Nilai kecepatan putar dapat dihitung berdasarkan persamaan (3) sebagai berikut [16]:

$$N = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (3)$$

Dengan N = Kecepatan motor
 F = Frekuensi
 P = Jumlah Kutub

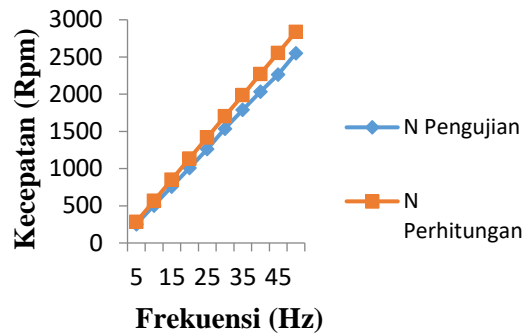
3.3.1. Perbandingan Perhitungan dan Pengukuran Putaran Motor dengan Frekuensi yang Sama

Nilai perbandingan kecepatan hasil pengujian kecepatan motor dengan perhitungan disajikan dalam satu grafik, melalui grafik tersebut akan terlihat perbedaan kecepatan yang dihasilkan. Data pengujian kecepatan motor listrik dilakukan dengan memberikan frekuensi yang berbeda dengan pengujian tanpa beban.

Tabel 6. Perbandingan nilai kecepatan terukur dan perhitungan berdasarkan frekuensi input

Frekuensi (Hz)	N Pengujian (rpm)	N Perhitungan (rpm)
5	252	284
10	504	568
15	759	852
20	1008	1136
25	1263	1420
30	1538	1704
35	1791	1988
40	2034	2272
45	2266	2556
50	2553	2840

Pada tabel 6. dapat dilihat bahwa, pada pengujian pertama ketika frekuensi 5 Hz, kecepatan putar induksi sebesar 252 rpm sedangkan berdasarkan perhitungan didapat kecepatan motor 284 rpm. Pada frekuensi 30 kecepatan putar motor ketika pengujian sebesar 1538 rpm sedangkan berdasarkan perhitungan didapat hasil sebesar 1988 rpm. Dari data tabel 6. dapat dibuat grafik pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik Perbandingan nilai kecepatan terukur dan perhitungan berdasarkan frekuensi input

Dari gambar 16. didapat bahwa grafik perbandingan kecepatan motor induksi yang memiliki nilai linier dimana setiap kenaikan frekuensi sebanding dengan kenaikan kecepatan induksi. Hal ini sesuai dengan perbandingan (3) dimana semakin besar nilai frekuensi yang diberikan kepada motor semakin besar pula nilai kecepatan putar dari motor tersebut.

Berdasarkan Perhitungan untuk nilai putaran dengan frekuensi 50 Hz didapat kecepatan motor sebesar 2840 rpm sedangkan pada pengujian ketika 50 Hz nilai kecepatan yang terukur adalah 2258 rpm. Perbedaan nilai yang cukup besar ini dikarenakan tegangan input 1 fasa dari inverter merupakan gelombang MSW yang memiliki nilai harmonisa yang besar. Sehingga pengaruh harmonisa ini akan berakibat pada kinerja dari motor induksi tiga fasa.

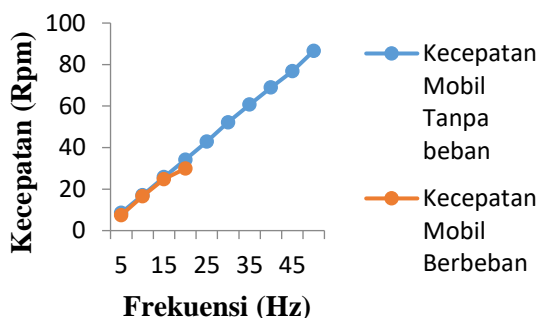
3.3.2. Pengujian Perubahan Frekuensi Terhadap Kecepatan Putar Motor Saat Berbeban dan Tidak Berbeban

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kecepatan motor listrik yang digunakan sebagai penggerak mobil listrik. Pengaturan frekuensi menggunakan inverter TOSVERT VFS-15 dan motor induksi 3 fasa sebagai penggerak utamanya dengan daya 2,2 KW. Data pengujian kecepatan motor listrik dilakukan dengan memberikan variasi ketika mobil dalam keadaan tidak berbeban dan ketika mobil dibebani (berat *chassis* ± 60 Kg) oleh satu pengemudi dengan massa 60 Kg.

Tabel 7. Pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan putar motor berbeban dan tidak berbeban

Frekuensi (Hz)	Kecepatan Motor Tanpa Beban (Km/Jam)	Kecepatan Motor Berbeban (Km/Jam)
5	8,56	7,45
10	17,1	16,56
15	25,74	24,8
20	34,2	29,92
25	42,84	-
30	52,164	-
35	60,732	-
40	68,976	-
45	76,824	-
50	86,58	-

Dari data tabel 7. didapat ketika frekuensi 5 Hz kecepatan mobil ketika tanpa beban adalah sebesar 8,56 Km/ Jam, sedangkan untuk nilai kecepatan ketika dalam keadaan berbeban kecepatan terukur 7,45 Km/ Jam. Ketika frekuensi 10 Hz kecepatan mobil ketika tanpa beban terukur sebesar 17,1 Km/Jam, ketika mobil dalam keadaan berbeban kecepatan terukur sebesar 16,56 Km/jam. Ketika frekuensi senilai 20 Hz kecepatan mobil tanpa beban terukur sebesar 34,2 Km/Jam , ketika mobil dalam keadaan berbeban kecepatan mobil senilai 29,92 Km/jam.ddapat dibuat grafik perbandingan yang dimuat pada gambar 17.



Gambar 17. Grafik Pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan putar motor berbeban dan tidak berbeban

Dari gambar 17. grafik nilai kecepatan antara mobil ketika berbeban dan tidak berbeban memiliki perbedaan nilai yang sedikit, hal ini dapat dilihat dimana kurva ketika 5 Hz, 10 Hz, dan 15 Hz menunjukkan grafik yang berhimpit dari kedua parameter tersebut. Dan ketika dalam keadaan frekuensi 50 Hz kecepatan mobil ketika dalam keadaan tidak berbeban terukur sebesar 86,58 Km/Jam. Pada pengukuran dalam keadaan berbeban ketika frekuensi diatas 25 Hz tidak dilakukan karena untuk meningkatkan frekuensi nilai tersebut membutuhkan waktu dan track yang panjang dengan permukaan jalan yang datar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian, dan analisa yang telah dilakukan maka dapat dibuat kesimpulan bahwa pada pengujian catu daya tiga fasa memiliki nilai ketidakseimbangan tegangan sebesar 0,39 %.Mobil listrik dengan penggerak motor induksi tiga fasa menggunakan media pengendalian VFD (*variable Frequence Device*) untuk menggerakkan as roda telah berhasil dibuat. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian yang menunjukkan bahwa motor induksi tiga fasa telah berhasil menggerakkan mobil dengan beban pengendara 60 Kg. Perubahan frekuensi 3 fasa berbanding lurus dengan kecepatan dan tegangan motor, semakin besar nilai frekuensi inputan, maka semakin besar nilai kecepatan putaran motordan semakin besar nilai tegangan pada masing-masing fasa.

Referensi

- [1] Luthfi P., Yusmartato, Taufik P., “Kontribusi Konversi Mobil Konvensional Ke Mobil Listrik dalam Penanggulangan Pemanasan Global,” *Journal of Electrical Technology*, vol. 3, No. 2, Juni 2018.
- [2] Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 55 Tahun 2019
- [3] Selamat lestari, “ Sistem Monitoring dan Kontrol Manual Pada Mobil Listrik”, Laporan Tugas Akhir, Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2015.
- [4] Samuel s, Khairul Amri, Rosa, Afriyastuti Herawati, “Analisis Efisiensi Motor Pada Kondisi Tegangan Non Rating dengan Metode *Segregated Loss*”, *Jurnal Teknosia vol. II*, No. 17, 2016.
- [5] Bornok J. P. S. Sihombing, “Perancangan Sistem Pengaturan Arah Putaran Motor Induksi 3 Fasa Hubungan Bintang-Delta Berbasis PLC,” Laporan Tugas Akhir, Teknik Elektro, Universitas HKBP Nommensen, 2008
- [6] Sarifudin Amirudin, “Rancangan Bangun Mobil Listrik dengan Penggerak Motor Induksi Tiga Fasa Sistem Kontrol Kmobil Listrik,” Laporan Tugas Akhir, Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap, Cilacap, 2019.
- [7] Kurniawan B, Wulandari D, “Rancang Bangun Sistem Suspensi Double Wishbone pada Mobil Listrik Garnesha” *JRM*, vol. 1, no. 1, pp. 50-53, 2013.
- [8] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1998.
- [9] Rahman, A. M, “Pembuatan Mobil Listrik Untuk Solusi Transportasi Ramah Lingkungan (Mobil Baskara)” *Jurnal Riset Daerah*, Vol. XII, No. 2, Bantul, 2013.
- [10] Evalin N, Abdul A, Zulfikar, “Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programable Logic Controller” *Journal of Electrical Technology*, Vol. 3, No. 2, Sumatera Utara, Juni 2018.
- [11] Henri Wijaksana, Ayub Subandi, “ Rancang Bangun Sistem Kelistrikan dan Sistem Manajemen Baterai Pada Kendaraan Listrik” *Makalah Tugas Akhir*, Bandung, 2015.
- [12] *Tosvert VF-S15 Instruction Manual*, Web version, Toshiba Corporation, Tokyo, Jepang

- [13] Hart, D.W. *Introduction to Power Electronic*, Prentice-HALL International, Inc, Indiana, 1997.
- [14] Wijaya, Mochtar, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*, Djambatan, Jakarta, 2001.
- [15] Lilis Setiono, “Perancangan Mekanika dan Realisasi Kontrol Mobil Listrik”, *e-Proceeding of Engineering vol. 3*, No. 3, Desember 2016.
- [16] Desmas A Patriawan dan Dr. Ir. Endra Pitrowarno, M.Eng. “Desain Electronic Control Unit Pada Kendaraan Listrik Bertenaga Bantu Sel Surya”. D-4 Jurusan Teknik Mekatronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.