

**PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA
DENGAN PERUBAHAN TEGANGAN DAN FREKUENSI
BERBASIS *SMARTPHONE* ANDROID**

(Skripsi)

Oleh

APRIWAN RIZKI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN PERUBAHAN TEGANGAN DAN FREKUENSI BERBASIS SMARTPHONE ANDROID

Oleh

APRWAN RIZKI

Penggunaan motor induksi tiga fasa sudah banyak digunakan diindustri besar maupun kecil. Kecepatan motor induksi dapat diatur dengan mengubah tegangan dan frekuensi sumber. Pengoperasian kecepatan motor induksi pada umumnya secara manual dan menggunakan kabel. Dalam mempermudah pengoperasian kecepatan motor induksi, dibutuhkan suatu kontroler untuk mengendalikan kecepatan motor induksi dari jarak jauh dan tanpa kabel.

Tujuan penelitian ini adalah membuat suatu kontroler yang dapat mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa tipe sangkar tupai dari jarak jauh dengan menggunakan perubahan tegangan dan frekuensi suplai. Untuk dapat mengatur kecepatan motor dari jarak jauh dibutuhkan sebuah *smartphone* android yang memiliki perangkat *bluetooth*, yaitu suatu komunikasi nirkabel yang menyediakan layanan pertukaran data. Pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan cara mengatur nilai tegangan dan frekuensi sumber menggunakan buck converter dan inverter. Rangkaian buck converter digunakan untuk mengatur nilai tegangan dengan mengubah nilai *duty cycle* sedangkan rangkaian inverter digunakan untuk mengatur nilai frekuensi dengan pemicunya menggunakan metode SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*). Metode pengereman kecepatan motor menggunakan metode pengereman dinamik.

Dari hasil pengujian kecepatan motor dapat dikontrol sampai jarak 15 meter, dimana kecepatan akan semakin cepat ketika nilai tegangan dan frekuensi sumbernya dinaikkan. Sebaliknya, ketika nilai tegangan dan frekuensi diturunkan maka kecepatan motor akan menurun. Alat ini dapat mengatur tegangan DC sebesar 287 volt dan buck converter mengatur nilai *duty cycle* antara 0,2 sampai 1 dengan kenaikan 0,2 sedangkan inverter mengatur frekuensi dari 40 Hz sampai 55 Hz dengan kenaikan 5 Hz.

Kata kunci : motor induksi 3 fasa, *smartphone* android, *bluetooth*, buck converter, inverter

ABSTRAK

SPEED CONTROLLER OF 3 PHASE INDUCTION MOTOR WITH VOLTAGE AND FREQUENCY CHANGES BASED ON ANDROID SMARTPHONE

By

APRWAN RIZKI

The use of three phase induction motor is widely used for large and small industry. Induction motor speed can be adjusted by changing the voltage and frequency of the source. Operation speed induction motors are generally manually and using cables. In facilitating the operation of induction motor speed, we need a device to control the speed of induction motors on remotely and wirelessly.

The purpose of this research is to design a device that can control the speed of 3-phase induction motor squirrel cage type remotely using supply voltage and frequency changes. To adjust the speed of the motor from a distance it takes an android smartphone with bluetooth, which is a wireless communication that provides data exchange services. 3-phase induction motor speed controller is done by regulating the voltage value and frequency source using buck converter and the inverter. Buck converter circuit is used to set the value of the voltage by changing the duty cycle value while the inverter circuit is used to set the value of the trigger frequency by using SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation). Dynamic braking method is required.

From the results of motor speed testing, it can be controlled up to 15 meters distance, where the speed will be faster when the source voltage and frequency values increased. Conversely, when the value of the voltage and frequency are decreased so the motor speed will decrease. This tool can adjust 287 Volt of DC Voltage and a buck converter will set the duty cycle value between 0.2 to 1 with an increase of 0.2 while the inverter adjust the frequency from 40 Hz to 55 Hz to 5 Hz increase.

Keywords : three phase induction motor, android smartphone, bluetooth, buck converter, inverter

**PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA
DENGAN PERUBAHAN TEGANGAN DAN FREKUENSI
BERBASIS *SMARTPHONE* ANDROID**

Oleh :

Apriwan Rizki

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi : **PENGATURAN KECEPATAN MOTOR
INDUKSI TIGA FASA DENGAN
PERUBAHAN TEGANGAN DAN
FREKUENSI BERBASIS SMARTPHONE
ANDROID**

Nama Mahasiswa : **Apriwan Rizki**

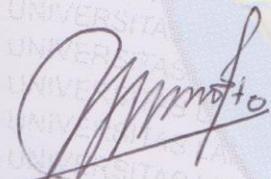
Nomor Pokok Mahasiswa : 1115031016

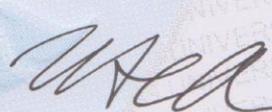
Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

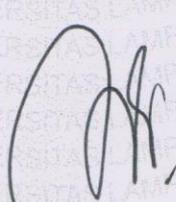


1. **Komisi Pembimbing**


Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.
NIP. 19631114 199903 1 001


Osea Zebua, S.T., M.T.
NIP. 19700609 199903 1 002

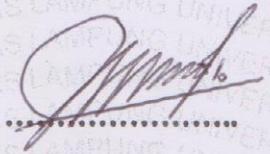
2. **Ketua Jurusan Teknik Elektro**


Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP : 19731128 199903 1 005

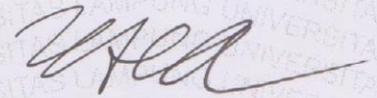
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

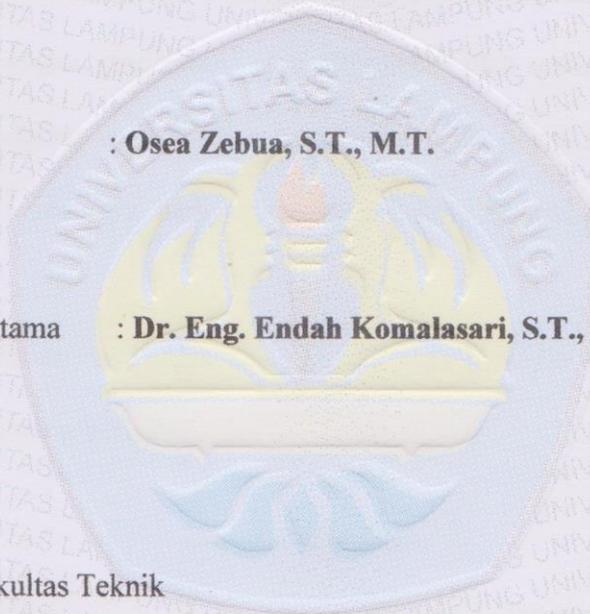
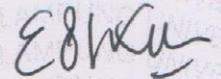
Ketua : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T



Sekretaris : Osea Zebua, S.T., M.T.



Penguji Utama : Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.

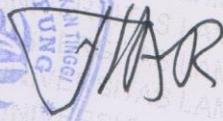


2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.Sc. Ph.D.

NIP : 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 November 2016

SURAT PERNYATAAN

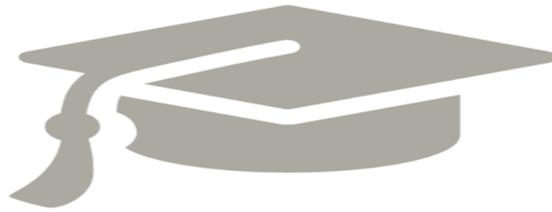
Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 11 November 2016



Apriwan Rizki
1115031016



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Atas ridho

Dengan rasa hormat, cinta dan sayangku
Ku dedikasikan karya sederhana ini untuk
Bapak dan Ibu:

Bapak Tikwan Luhri

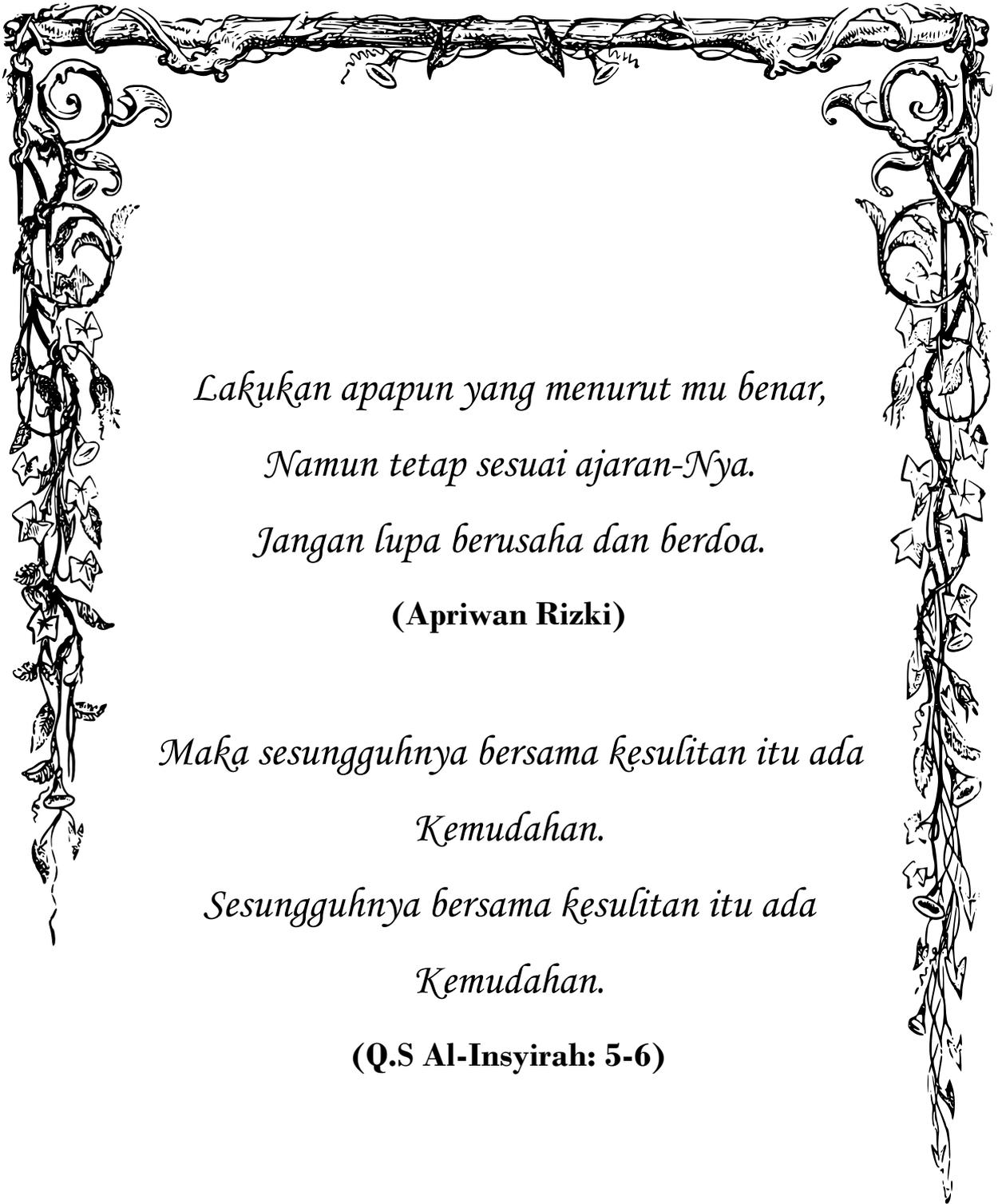
&

Ibu Nurhamah Ms

Terima kasih atas cinta, kasih sayang dan doa-nya

رَبِّ اغْفِرْ لِي وَلِوَالِدَيَّ وَارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا

"Ya Allah! Ampunilah aku, ibu bapakku dan kasihilah mereka keduanya, sebagaimana mereka berdua telah menyayangi aku waktu kecil."



*Lakukan apapun yang menurut mu benar,
Namun tetap sesuai ajaran-Nya.
Jangan lupa berusaha dan berdoa.*

(Apriwan Rizki)

*Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada
Kemudahan.*

*Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada
Kemudahan.*

(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi pada tanggal 02 April 1994.

Penulis merupakan anak keempat dari pasangan Bapak Cikwan Zuhri dan Ibu Nurhamah.

Pendidikan formal penulis dimulai dari TK Laskar Ampera, Rejosari, Kotabumi dari tahun 1998 sampai 1999. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Rejosari, Kotabumi dari tahun 1999 sampai 2005. Penulis meneruskan pendidikan di SMPN 7 Kotabumi dari tahun 2005 sampai 2008 dilanjutkan ke Sekolah Yayasan Pembina UNILA (YP UNILA) daritahun 2008 sampai 2011.

Pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) tertulis. Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan menjadi Asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik (KEE). Penulis juga pernah aktif di lembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas (Himatro) sebagai Anggota Departemen Kerohanian (2012-2013) dan (2013-2014). Pada tahun 2015, penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. PLN Persero Distribusi Jakarta Raya dengan bahasan pemeliharaan transformator.

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan nikmat kesehatan, kesempatan, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW sang penutup para Nabi dan Rasul, kepada keluarga, sahabat, dan pengikutnya yang setia sampai akhir zaman.

Skripsi ini berjudul ***"Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Perubahan Tegangan dan Frekuensi Berbasis Smartphone Android"*** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama melaksanakan penelitian ini, penulis banyak mendapatkan pengalaman yang sangat berharga. Penulis juga telah mendapat bantuan baik moril, materi, maupun petunjuk, bimbingan dan saran dari berbagai pihak, secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua Penulis, Bapak Cikwan Zuhri dan Ibu Nurhamah tercinta yang tidak pernah berhenti memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tiada batas akhir dan semoga Beliau selalu dalam lindungan Allah SWT.

2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T.,M.T., selaku sekretaris jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
6. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T., selaku Pembimbing Utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
7. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T., selaku Pembimbing Pendamping atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
8. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T., selaku Penguji yang telah memberikan masukan dan saran-saran dalam skripsi ini.
9. Bapak Ir. Emir Nasrullah, M. Eng., selaku pembimbing akademik yang telah memberikan waktu dan bimbingannya semasa penulis kuliah.
10. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas pengajaran yang diberikan selama ini kepada penulis.

11. Seluruh Staf Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas bantuannya semasa penulis kuliah.
12. Keluarga besar penulis Udo Juliansyah Putra, Kaka Nur Bayti, Wo Meivi Dwinita, Kak M. Khadafi, Adik Rahmat Kurniawan, Keponakan Ghazi, Annida, Annahla dan Fariz yang telah memberikan motivasi dan dukungan moril-materil kepada Penulis.
13. Keluarga Eleveengineer, Adit P, Adit H, Adit R, Agi, Alex, Alin, Anang, Andi Andre, Nida, Arief (alm), Rosiq, Choi, Darma, Deden, Denny, Dirya, Iyon, Edi, Eliza, Fadil, Fanny, Faris, Ramos, Frian, Frisky, Gusmau, Grienda, Habib, Hajar, Hajri, Imam, Made, Yazir, Havif, Mariyo, Farid, Abidin, Fikri, Najib, Gata, Nur, Rina, Oka, Pras, Petrus, Randi, Rani, Rei, Jani, Restu, Reynold, Reza, Richard, Penceng, Sigit, Subas, Vina, Yere, Yoga, Yunita, Ucup atas dukungan, cerita dan kebersamaan dalam susah maupun senang. Kekeluargaan kita tidak akan terputus sampai kapanpun.
14. Teknisi Lab Pak Sugiyanto dan rekan-rekan asiten lab KEE 2011 (Adit H, Deni, Frian, Habib, Rejani, Richard)
15. Rekan-rekan asisten Lab KEE 2010 (Kak Maulana, Kak Nanang, Kak Melzi, Kak Reza, Kak Jaya, Kak Nuril, Radi, Kak Rahmat, Mbak Devi).
16. Rekan-rekan asisten Lab KEE 2012 (Guntur, Aji, Dharma, Yayan, Lifani, Rio, Panji) dan Asisten 2013 (Nabila, Pitia, Rendi, Gusti, Deri, Agung, Hardi, Hekson, Andre, Paian, Fikri).
17. Keluarga besar Teknik Elekto yang luar biasa.

18. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) atas pengalaman, pembelajaran dan segala rasa yang lahir yang tidak akan pernah terlupakan.
19. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah hingga terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga kebersamaan ini membawa kebaikan, keberkahan, kemurahan hati, serta bantuan dan do'a yang telah diberikan seluruh pihak akan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT dan semoga kita menjadi manusia yang berguna dan berkembang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari kesalahan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan serta saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 11 November 2016

Penulis,

Apriwan Rizki
1115031016

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
LEMBAR JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
SANWANCANA	x
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxii

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Rumusan Masalah	4

1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesis.....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi.....	7
2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi.....	10
2.3 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	12
2.4 Buck Converter.....	17
2.5 Inverter 3 Fasa.....	20
2.6 <i>Power Supply</i>	21
2.7 Mikrokontroler Arduino.....	22
2.8 MOSFET.....	23
2.9 Bluetooth HC-05.....	24
2.10 Pengereman Dinamik.....	25

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.3 Prosedur Penelitian.....	28
3.4 Analisa dan Hasil Pengujian.....	35

3.5 Diagram Alir Penelitian	35
-----------------------------------	----

IV. HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Perancangan Alat	37
4.1.1 Aplikasi Pengendali	37
4.1.2 Mikrokontroler Arduino.....	39
4.1.3 Modul <i>Gate Driver</i> Buck Converter	40
4.1.4 Rangkaian Buck Converter	42
4.1.5 Modul <i>Gate Driver</i> Inverter	43
4.1.6 Rangkaian Inverter	44
4.1.7 Rangkaian Pengereman Dinamik.....	45
4.1.8 Rangkaian Keseluruhan	46
4.2 Hasil Pengujian	47
4.2.1 Hasil Pengujian Aplikasi Pengendali	47
4.2.2 Hasil Pengujian Jangkauan <i>Bluetooth</i>	49
4.2.3 Hasil Pengujian Komunikasi UART	50
4.2.4 Hasil Pengujian Pengendali I2C	52
4.2.5 Hasil Pengujian Gelombang PWM di Arduino Uno.....	54
4.2.6 Hasil Pengujian Rangkaian Gate Driver Buck Converter....	57
4.2.7 Hasil Pengujian Rangkaian Buck Converter.....	58
4.2.8 Hasil Pengujian <i>Gate Driver</i> Inverter	60

4.2.9 Hasil Pengujian Rangkaian Inverter	61
4.2.10 Hasil Penggabungan antara Buck Converter dan Inverter	64
4.2.11 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Filter</i>	67
4.2.12 Hasil Pengujian Rangkaian Pengereman Dinamik	69
4.2.13 Hasil Pengujian Keseluruhan	70

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. Konstruksi Stator	8
2. Gambar 2.2. Konstruksi Rotor Sangkar Tupai	9
3. Gambar 2.3. Konstruksi Rotor Belitan	9
4. Gambar 2.4. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi	12
5. Gambar 2.5. Karakteristik motor induksi ketika perubahan tegangan ..	14
6. Gambar 2.6. Karakteristik motor induksi ketika perubahan frekuensi..	15
7. Gambar 2.7. Karakteristik motor induksi ketika perubahan tegangan dan frekuensi	17
8. Gambar 2.8. Rangkaian Buck Converter	18
9. Gambar 2.9 Rangkaian Buck Converter saat saklar ON	19
10. Gambar 2.10. Rangkaian Buck Converter saat saklar OFF	19
11. Gambar 2.11. Rangkaian Inverter 3 Fasa	20
12. Gambar 2.12. Pemicuan gelombang SPWM	21
13. Gambar 2.13. Rangkaian <i>Power Supply</i>	22
14. Gambar 2.14. Arduino Mega 2560	23
15. Gambar 2.15. MOSFET	24
16. Gambar 2.16. <i>Bluetooth</i> HC-05	25

17. Gambar 2.17. Rangkaian Pengereman Dinamik	26
18. Gambar 3.1. Diagram blok perancangan alat	31
19. Gambar 3.2. Diagram Alir Perancangan Alat dan Sistem.....	36
20. Gambar 4.1 Tampilan awal dari aplikasi pengendali kecepatan motor.....	38
21. Gambar 4.2 Rangkaian Driver mosfet pada buck converter	41
22. Gambar 4.3 Realisasi rangkaian <i>driver</i> mosfet buck converter.....	41
23. Gambar 4.4 Realisasi rangkaian buck converter	42
24. Gambar 4.5 Realisasi rangkaian <i>gate driver</i> inverter	43
25. Gambar 4.6 Realisasi rangkaian inverter.....	44
26. Gambar 4.7 Realisasi rangkaian pengereman dinamik	45
27. Gambar 4.8 Tampilan alat secara keseluruhan	46
28. Gambar 4.9 Tampilan aplikasi pada layar <i>smartphone</i> saat terhubung dan tidak terhubung dengan <i>Bluetooth</i>	47
29. Gambar 4.10 Tampilan LCD dengan perintah duty cycle 20% dan frekuensi 40 Hz	51
30. Gambar 4.11 Tampilan LCD dengan perintah duty cycle 40% dan frekuensi 45 Hz	51
31. Gambar 4.12 Tampilan LCD dengan perintah duty cycle 60% dan frekuensi 50 Hz	51
32. Gambar 4.13 Tampilan LCD dengan perintah duty cycle 80% dan frekuensi 50 Hz	51
33. Gambar 4.14 Tampilan LCD dengan perintah duty cycle 100% dan frekuensi 55 Hz	52
34. Gambar 4.15 Tampilan LCD dengan perintah pengereman.....	52

35. Gambar 4.16 Hasil pengujian komunikasi I2C dengan indikator LED menyala	53
36. Gambar 4.17 Grafik hubungan tegangan PWM dengan <i>duty cycle</i>	54
37. Gambar 4.18 Tampilan gelombang PWM saat <i>duty cycle</i> 20%	55
38. Gambar 4.19 Tampilan gelombang PWM saat <i>duty cycle</i> 40%	55
39. Gambar 4.20 Tampilan gelombang PWM saat <i>duty cycle</i> 60%	55
40. Gambar 4.21 Tampilan gelombang PWM saat <i>duty cycle</i> 80%	55
41. Gambar 4.22 Tampilan gelombang PWM saat <i>duty cycle</i> 100%	55
42. Gambar 4.23 Grafik hubungan tegangan dengan <i>duty cycle</i> pada <i>gate driver</i>	58
43. Gambar 4.24 Grafik perbandingan tegangan keluaran buck converter saat terukur dengan teori	60
44. Gambar 4.25 Bentuk gelombang saat pengujian SPWM	61
45. Gambar 4.26 Tampilan gelombang keluaran inverter frekuensi 40 Hz	62
46. Gambar 4.27 Tampilan gelombang keluaran inverter frekuensi 45 Hz	62
47. Gambar 4.28 Tampilan gelombang keluaran inverter frekuensi 50 Hz	63
48. Gambar 4.29 Tampilan gelombang keluaran inverter frekuensi 55 Hz	63
49. Gambar 4.30 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 20% dan frekuensi 40 Hz	64
50. Gambar 4.31 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 40% dan frekuensi 40 Hz	65
51. Gambar 4.32 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 60% dan frekuensi 45 Hz	65

52. Gambar 4.33 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 80% dan frekuensi 50 Hz	65
53. Gambar 4.34 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 100% dan frekuensi 55 Hz	66
54. Gambar 4.35 Tampilan gelombang saat pengereman motor.....	66
55. Gambar 4.36 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 20% dan frekuensi 40 Hz setelah melewati rangkaian filter.....	67
56. Gambar 4.37 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 40% dan frekuensi 40 Hz setelah melewati rangkaian filter.....	68
57. Gambar 4.38 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 60% dan frekuensi 45 Hz setelah melewati rangkaian filter.....	68
58. Gambar 4.39 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 80% dan frekuensi 50 Hz setelah melewati rangkaian filter.....	68
59. Gambar 4.40 Tampilan gelombang saat <i>duty cycle</i> 100% dan frekuensi 50 Hz setelah melewati rangkaian filter.....	69
60. Gambar 4.41 Tampilan gelombang saat pengereman dinamik	70
61. Gambar 4.42 Grafik hubungan kecepatan motor dengan torsi saat tegangan dan frekuensi dinaikan.....	74
62. Gambar 4.43 Grafik hubungan kecepatan motor dengan torsi saat tegangan dinaikkan dan frekuensi diturunkan	75

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Nilai Register OCR Berdasarkan <i>Duty Cycle</i>	39
Tabel 4.2. Hasil Pengujian <i>Bluetooth</i> di Ruang Terbuka	49
Tabel 4.3. Hasil Pengujian <i>Bluetooth</i> di Ruang Tertutup.....	50
Tabel 4.4. Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran Gelombang PWM	54
Tabel 4.5. Hasil pengujian Tegangan Keluaran <i>Driver</i> Mosfet	57
Tabel 4.6. Hasil Pengujian Buck Converter	59
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Alat secara Keseluruhan	72
Tabel 4.8. Nilai kecepatan motor dan torsi saat tegangan dan frekuensi dinaikan bersama.....	75
Tabel 4.9. Nilai kecepatan motor dan torsi ketika tegangan naik dan frekuensi diturunkan.....	76

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini perkembangan dibidang teknologi sangat berkembang pesat dan sudah menjadi salah satu kebutuhan hidup manusia. Penggunaan teknologi yang sering digunakan hanya sebatas umumnya saja tetapi tidak dimanfaatkan lebih baik. Teknologi yang dimaksud adalah teknologi seluler dimana teknologi seluler ini sudah menjadi seperti kebutuhan dasar bagi masyarakat. Hal ini dikarenakan *smartphone* berfungsi untuk menelpon, sms, bertukar atau berkirim data, *browsing*, dan lain-lain.

Berbagai macam jenis *handphone* sudah banyak yang muncul di kehidupan ini dengan berbagai fungsi dan kegunaannya. Pada saat ini *handphone* yang sedang menguasai teknologi seluler adalah *handphone* pintar atau biasa disebut dengan *smartphone*. *Smartphone* mempunyai kelebihan dibandingkan dengan *handphone* yang sebelumnya, hal ini dikarenakan *smartphone* dapat memberikan suatu kemudahan bagi pengguna *smartphone* tersebut.

Smartphone memiliki banyak fitur-fitur yang dapat dimanfaatkan, terdapat sebuah aplikasi yang dapat menerima atau mengirim suatu data yaitu aplikasi *bluetooth*. Aplikasi *bluetooth* ini dapat dimanfaatkan lebih baik lagi dibandingkan hanya untuk

bertukar data saja. Dari aplikasi *bluetooth* ini, terdapat sebuah pemikiran untuk membuat sebuah perintah yang dapat mengendalikan kecepatan motor induksi. Sehingga motor induksi dapat dikendalikan dari jarak jauh hanya dengan menyentuh tombol perintah yang sudah terdapat di layar *smartphone*.

Motor induksi yang ingin dikendalikan merupakan motor listrik yang hanya bekerja berdasarkan sumber tegangan bolak-balik. Motor jenis ini juga banyak digunakan di industri besar dan kecil. Pengaturan kecepatan pada motor induksi dapat diatur dengan mengubah nilai-nilai tegangan sumber, arus, dan frekuensi. Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode perubahan nilai tegangan dan frekuensi sumber pada motor tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kemudahan untuk mengoperasikan suatu peralatan dan memanfaatkan suatu fitur *bluetooth* yang terdapat di *smartphone*. Penggunaan dari *bluetooth* tersebut dapat dikendalikan dari jarak 15 meter sehingga pengaturan motor induksi dapat dikendalikan dari jarak jauh. Berdasarkan hal-hal diatas, muncul sebuah ide untuk menciptakan sebuah pengaturan kecepatan motor induksi yang dikendalikan dengan menggunakan komunikasi tanpa kabel atau *wireless*.

Pada penelitian sebelumnya untuk mengatur perubahan tegangan menggunakan DC Chopper sedangkan perubahan frekuensi menggunakan inverter. Penelitian yang dilakukan oleh Baskara Internalis pada tahun 2007 dengan judul “Pengaruh Variasi Tegangan DC Chopper dan Variasi Frekuensi Inverter pada Pengaturan Kecepatan

Motor Induksi 3 Fasa 1 HP Berbasis Mikrokontroler AT89S51/52” telah melakukan pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan perubahan nilai tegangan dan frekuensi.

Pada penelitian tersebut perangkat kontrolnya menggunakan mikrokontroler AT89S51/52 dan tidak adanya pengereman serta tidak ada rangkaian *filter*. Berdasarkan latar belakang tersebut, muncul suatu ide untuk membuat suatu *prototype* pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa serta pengeremannya dengan menggunakan *smartphone*. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan mikrokontroler Arduino dengan penambahan rangkaian *filter* serta memiliki rangkaian pengereman. Pada penelitian ini digunakan juga *smartphone* sebagai kontroler kecepatan motor, dimana kontroler ini dapat mengatur kecepatan motor dari jarak jauh dengan menggunakan *bluetooth*.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan, yaitu:

1. Membuat alat pengendali kecepatan putar motor induksi serta pengereman yang dapat dikendalikan dari jarak jauh.
2. Membuat aplikasi berbasis sistem operasi android untuk membantu pengendalian kecepatan motor induksi serta pengeremannya.
3. Memperluas jangkauan pengaturan kecepatan motor induksi dengan menggunakan sistem komunikasi *bluetooth*.

1.3. Manfaat Penelitian

Berikut ini merupakan manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Memanfaatkan *smartphone* dengan secara maksimal sebagai pengendali kecepatan motor listrik.
2. Memberikan kemudahan bagi operator dalam mengatur kecepatan putaran motor induksi dan pengeremannya.

1.4 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana mengendalikan kecepatan putaran motor induksi serta pengeremannya dengan menggunakan *smartphone*.
2. Bagaimana mengatur kecepatan putaran motor induksi dengan mengubah nilai tegangan dan frekuensi sumber.
3. Bagaimana cara mengubah kecepatan motor induksi dengan mengatur perubahan tegangan dan frekuensi secara bersamaan.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Pengaturan kecepatan motor induksi serta pengereman menggunakan mikrokontroler arduino.
2. Pengendalian motor induksi akan dilakukan dengan mengubah tegangan dan frekuensi.
3. Metode pengereman yang digunakan yaitu pengereman elektrik secara dinamik.

4. Tidak membahas harmonisa yang ditimbulkan
5. Tidak membahas secara detail *bluetooth* pada sistem operasi android.
6. Tidak membahas secara detail program pada android dan arduino.

1.6. Hipotesis

Penelitian bertujuan membuat suatu alat pengendali yang dirancang untuk dapat mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fasa dan pengeremannya. Dengan memanfaatkan fitur *bluetooth* pada *smartphone*, operator mengirim perintah ke mikrokontroler dengan menekan tombol pada layar *smartphone*. Mikrokontroler akan memproses perintah tersebut dan alat pengendali akan bekerja dengan mengendalikan kecepatan dan pengereman motor dari jarak jauh.

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

I. PENDAHULUAN

Bab pertama berisi tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab kedua ini berisi tentang dasar teori yang akan digunakan sebagai acuan dalam perancangan alat, analisa serta pembahasan yang didapat setelah melakukan penelitian.

III. METODE PENELITIAN

Bab ketiga ini membahas tentang alat-alat, prosedur, serta metode perancangan yang digunakan pada penelitian ini.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab keempat berisi hasil yang didapat setelah melakukan penelitian serta menganalisa hasil penelitian tersebut.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini berisi tentang kesimpulan dan saran-saran yang mungkin menjadi acuan untuk perkembangan alat ini kedepannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Induksi

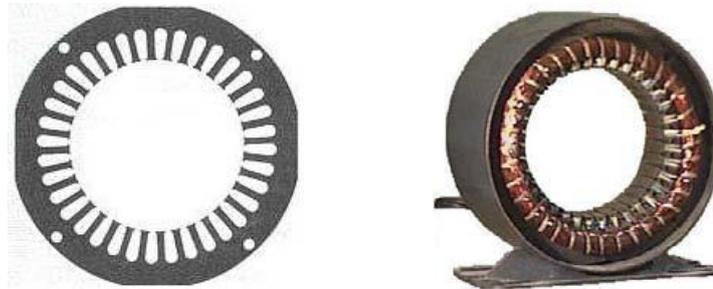
Motor asinkron atau juga disebut motor induksi merupakan motor listrik arus bolak-balik (AC) yang bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotor. Arus rotor diperoleh dari arus induksi yang diakibatkan karena adanya perbedaan antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan arus stator. Motor induksi ini sangat banyak digunakan pada kehidupan sehari-hari baik di bidang industri maupun di bidang rumah tangga.

Motor induksi dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan *phase*-nya, yaitu motor induksi *3-phase* dan motor induksi *1-phase*. Motor induksi *3-phase* biasanya dioperasikan di bidang industri yang memiliki sistem tenaga *3-phase*, sedangkan pada motor induksi *1-phase* biasanya digunakan pada peralatan-peralatan rumah tangga seperti kipas angin, pompa air, mesin cuci, dan lain-lain. Terdapat tiga bagian penting pada konstruksi dasar dari motor induksi, yaitu:

a) Stator

Stator merupakan bagian dari motor yang tidak bergerak dan terletak dibagian luar dari motor serta memiliki kumparan yang dapat menginduksikan suatu medan elektromagnet kepada kumparan rotor. Stator terdiri dari lapisan inti besi yang berlaminasi dan tersusun berlapis sebagai tempat kumparan dan

beberapa kumparan biasanya disebut dengan belitan phasa. Pada motor tiga phasa memiliki tiga buah belitan dimana tiap belitan tersebut terpisah sebesar 120° . Konstruksi stator diperlihatkan pada gambar 2.1.



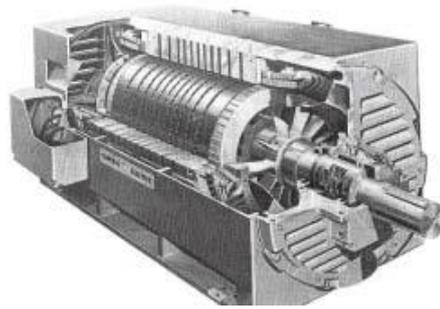
Gambar 2.1 Konstruksi Stator^[10]

b) Rotor

Rotor merupakan bagian dari motor yang bergerak yang diakibatkan adanya induksi medan magnet dari kumparan stator yang terletak dibagian dalam pada motor, selanjutnya akan diinduksikan ke kumparan rotor. Berdasarkan rotornya, motor induksi ini dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

a. Motor Induksi Sangkar Tupai (*Squirrel Cage Rotor*)

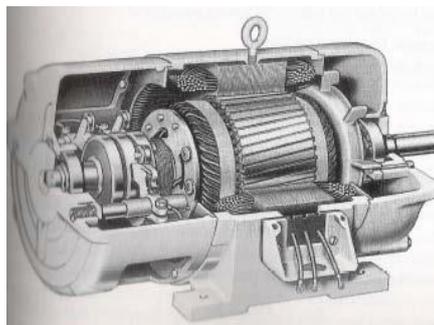
Motor jenis ini memiliki konstruksi rotor yang sederhana dan bagian dari mesin yang berputar bebas serta letaknya di dalam. Rotor jenis ini terbuat dari besi laminasi (berlapis) yang memiliki *slot* dengan batang aluminium atau tembaga yang dihubungkan singkat pada ujungnya. Karakteristik dari rotor sangkar tupai ini yaitu memiliki tahanan rotor yang tetap, nilai arus *starting* yang tinggi dan torsi *starting* yang rendah. Pada gambar 2.2 merupakan tampilan dari rotor tipe sangkar tupai.



Gambar 2.2 Konstruksi Rotor Sangkar Tupai^[10]

b. Motor Induksi Rotor Belitan (*Wound Rotor*)

Motor dengan rotor belitan merupakan jenis rotor yang mempunyai belitan tiga fasa yang dihubung bintang (*wye*) dibagian dalam dan pada ujung lainnya dihubungkan dengan *slip ring* (cincin geser) ke tahanan luar. Karakteristik dari rotor jenis ini yaitu mempunyai nilai arus *starting* yang rendah, torsi yang tinggi, power faktor yang baik dan memungkinkan tahanan luar dihubungkan ke tahanan rotor melalui *slip ring* yang terhubung dengan *brush* (sikat). Konstruksi rotor tipe belitan dapat diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Konstruksi Rotor Belitan^[10]

c) Celah atau *slip*

Celah atau biasa disebut dengan *slip* pada motor induksi merupakan suatu celah udara yang terdapat diantara stator dan rotor. Celah udara ini menyebabkan rotor dapat berputar yang dikarenakan oleh fluks induksi stator melewati celah tersebut sehingga memotong kumparan rotor. Celah udara ini diatur sedemikian rupa agar kerja motor menjadi optimum. Apabila celah tersebut terlalu kecil akan mengakibatkan kesuran mekanis pada mesin, sedangkan apabila terlalu besar maka efisiensi dari motor induksi akan rendah. Selisih antara kecepatan dari putaran motor dengan kecepatan sinkronya biasa disebut dengan *slip* (*s*). *Slip* pada umumnya dinyatakan dalam persen dari kecepatan sinkron,

$$Slip(s) = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 2.1$$

dimana :

N_s = Kecepatan Sinkron

N_r = Kecepatan Putaran Rotor

2.2. Prinsip Kerja Motor Induksi^{[10] [2]}

Prinsip kerja dari sebuah motor adalah mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi bekerja berdasarkan dari induksi elektromagnetik yang berasal dari kumparan stator kepada kumparan rotor. Kumparan stator akan menginduksikan garis-garis gaya fluks sehingga akan memotong kumparan rotor yang menyebabkan timbulnya Gaya Gerak Listrik (GGL) atau juga disebut dengan tegangan induksi. Arus pada kumparan rotor akan mengalir disebabkan kumparan pada rotor merupakan rangkaian tertutup. Kumparan (penghantar) rotor yang dialiri oleh arus akan berada dalam garis gaya fluks dari kumparan stator sehingga

kumparan pada rotor akan mengalami gaya Lorentz, rotor akan bergerak sesuai dengan arah dari pergerakan medan induksi dari stator akibat torsi yang ditimbulkan oleh gaya *Lorentz*. Berikut persamaan dari gaya *Lorentz*:

$$F = B \cdot i \cdot l \quad \dots\dots\dots 2.2$$

dimana:

F = Gaya Lorentz (Newton)

B = Kerapatan fluks magnet (Tesla)

i = Arus yang mengalir dikawat (Ampere)

l = Panjang konduktor (Meter)

Kecepatan putaran dari medan stator ditentukan oleh banyaknya jumlah kutub pada rangka stator yang terinduksi ke rotor. Apabila jumlah kutub semakin besar maka kecepatan dari putaran medan stator akan mengecil, begitu juga sebaliknya. Besar dari kecepatan berputar medan putar atau juga bisa disebut dengan kecepatan sinkron dapat didapat dari:

$$N_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots 2.3$$

dimana :

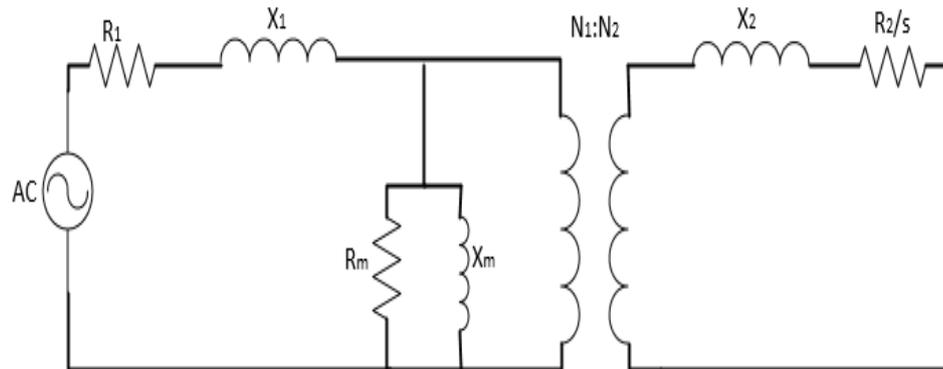
N_s = kecepatan putaran (rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah pasang kutub

2.3. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Tiga Fasa^{[2] [12]}

Berikut ini merupakan tampilan dari rangkaian ekivalen dari motor induksi



Gambar 2.4 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Dimana:

- V = Tegangan masukan
- R_1 = Tahanan stator
- I_1 = Arus stator
- X_1 = Reaktansi stator
- I_m = Arus magnetisasi
- R_m = Tahanan rangkaian magnetisasi
- X_m = Reaktansi rangkaian magnetisasi
- E_1 = Tegangan induksi stator
- N_1 = Belitan stator
- E_2 = Tegangan induksi rotor
- N_2 = Belitan rotor
- R_2/s = Tahanan rotor per slip
- I_r = Arus rotor
- X_2 = Reaktansi rotor

Daya masukan pada motor induksi 3 fasa adalah

$$P_{in} = \sqrt{3}VI\cos\varphi \dots\dots\dots 2.4$$

dimana P_{in} adalah daya masukan, V adalah tegangan yang dihasilkan, dan I adalah arus motor

Torsi yang dihasilkan adalah

$$T = \frac{P}{\omega} \text{ atau } T = \frac{P \times 60}{2\pi \times ns} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

- T = torsi motor
- P = daya
- ω = kecepatan sudut
- ns = kecepatan motor induksi

Motor induksi memiliki kecepatan yang konstan ketika pembebanan perubahan kecepatan motor sangat kecil. Pengurangan kecepatan motor diikuti dengan kerugian dari efisiensi dan faktor daya yang buruk. Berikut ini beberapa metode dalam kontrol kecepatan motor induksi:

1. Mengubah jumlah kutub motor^[2]

Kecepatan motor induksi dapat dikontrol dengan cara mengubah jumlah kutubnya. Namun untuk mengubah jumlah kutub statornya maka motor tersebut harus dibongkar, sehingga metode ini sulit dilakukan.

2. Mengubah nilai tegangan^[2]

Kecepatan motor induksi dapat dikontrol dengan merubah nilai tegangan, sesuai dengan persamaan berikut

$$T \propto \frac{sE_2^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2} \dots\dots\dots 2.6$$

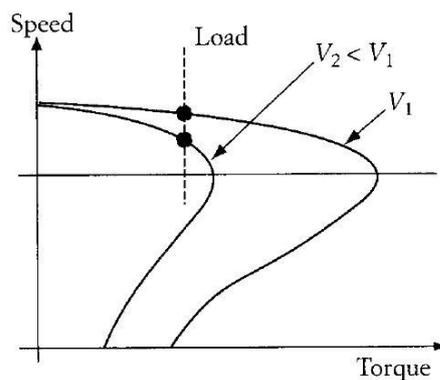
dimana E adalah tegangan induksi, R adalah tahanan rotor. Dikarenakan slip rendah $(sX)^2$ bernilai sangat rendah maka diabaikan sehingga

$$T \propto \frac{sE_2^2}{R_2} \dots\dots\dots 2.7$$

Nilai resistansi rotor R_2 adalah konstan, maka persamaannya menjadi

$$T \propto sE_2^2 \dots\dots\dots 2.8$$

Dapat diketahui bahwa $E_2 \propto V$ sehingga $T \propto sV^2$. Pada persamaan tersebut dapat diketahui jika tegangan *supply* dikurangkankan maka torsi pada motor akan turun sedangkan ketika tegangan dinaikkan maka torsi juga akan ikut naik. Ketika memasok beban yang sama maka torsi harus konstan sehingga slip harus ditingkatkan. Namun saat nilai slip ditingkatkan akan menyebabkan kecepatan motor semakin berkurang.



Gambar 2.5 Karakteristik motor induksi ketika perubahan tegangan^[2]

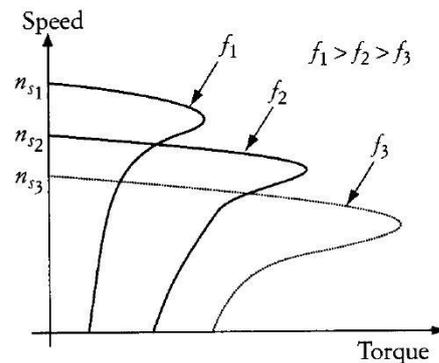
Gambar 2.5 merupakan karakteristik motor induksi ketika mengubah nilai tegangan sumber. Pada gambar, nilai V_1 lebih besar dibandingkan nilai V_2 , dimana ketika nilai tegangan semakin besar maka nilai torsi akan semakin besar juga. Sedangkan ketika nilai tegangan semakin kecil maka nilai torsi akan semakin kecil juga. Dapat dikatakan juga torsi berbanding lurus dengan nilai tegangan yang diberikan

3. Mengubah nilai frekuensi^[2]

Kecepatan motor induksi dapat dikontrol dengan merubah nilai dari frekuensi, sesuai dengan persamaan berikut:

$$N_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots 2.9$$

Dari persamaan diatas, kecepatan motor dapat dirubah dengan mengganti nilai frekuensi. Kecepatan dari motor induksi yang sebenarnya didapat dari $N = N_s (1 - s)$. Namun metode ini jarang digunakan karena membutuhkan generator khusus yang dapat mengubah nilai frekuensi. Pada saat frekuensi rendah, nilai arus pada motor akan menjadi tinggi dikarenakan nilai reaktansi menurun. Saat nilai frekuensi dinaikkan maka torsi maksimum akan jatuh sedangkan kecepatan meningkat.



Gambar 2.6 karakteristik motor induksi ketika perubahan frekuensi^[2]

Gambar 2.6 merupakan karakteristik motor induksi ketika nilai frekuensi sumber diubah. Pada gambar tersebut, nilai f_1 lebih besar dibandingkan f_2 dan nilai f_2 lebih besar dari f_3 , ketika nilai frekuensi semakin besar maka torsi yang dihasilkan akan kecil kecil. Sedangkan ketika nilai frekuensi semakin kecil maka nilai torsi akan semakin besar.

4. Mengendalikan kontrol V/f motor induksi^{[2] [5]}

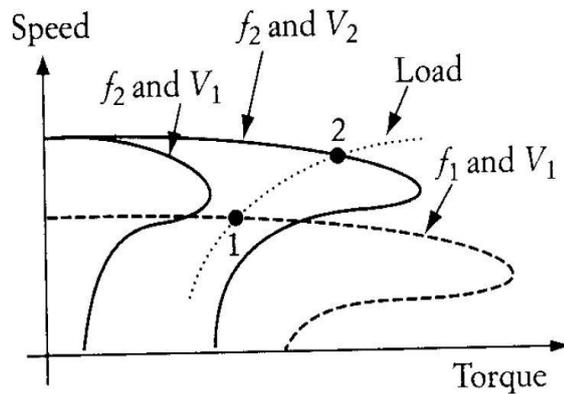
Pada saat nilai frekuensi *supply* dinaikkan maka nilai dari torsi maksimum akan menurun dan ketika nilai tegangan dinaikkan maka nilai torsi akan meningkat. Jika keduanya digabungkan maka kecepatan akan meningkat dan nilai torsi maksimum akan tetap atau konstan. Metode ini biasa disebut dengan *voltage/frequency control*, v/f. Kecepatan motor induksi dapat dikontrol dengan metode V/f untuk mengontrol tegangan dan frekuensi maka diperlukan rangkaian converter dan inverter.

Pada motor induksi emf diinduksikan oleh induksi yang sama dengan transformator, seperti berikut

$$E \text{ or } V = 4,44\phi K T f \text{ or } \phi = \frac{V}{4,44 K T f} \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana K adalah konstanta, T adalah jumlah putaran per fasa dan f adalah frekuensi. Dari persamaan diatas, ketika merubah nilai frekuensi maka kecepatan sinkron akan ikut berubah, tetapi saat penurunan fluks menyebabkan frekuensi akan meningkat.

Perubahan nilai fluks akan mengakibatkan rotor di motor menjadi jenuh sehingga stator akan menyebabkan naiknya arus tanpa beban di motor. Jadi sangat penting untuk mempertahankan fluks menjadi konstan dan itu hanya dimungkinkan dengan merubah nilai dari tegangan. Pada saat menurunkan fluks maka frekuensi akan meningkat dan pada saat yang sama jika kita menurunkan tegangan maka fluks juga akan tetap sehingga fluks tidak berubah atau konstan.

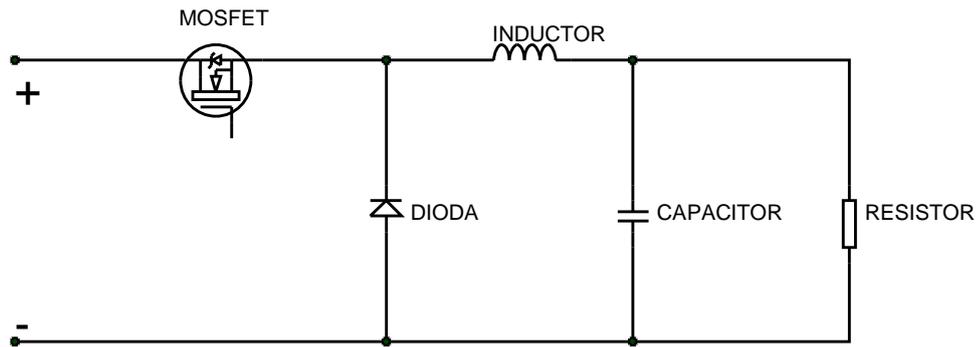


Gambar 2.7 Karakteristik motor induksi dengan perubahan tegangan dan frekuensi^[2]

Gambar 2.7 merupakan karakteristik motor induksi ketika nilai tegangan dan frekuensi diubah-ubah. Pada gambar tersebut, ketika nilai tegangan dan frekuensi dinaikkan bersama maka nilai torsi yang diperoleh semakin besar, diperlihatkan pada pada grafik f_1 and V_1 . Sedangkan pada grafik f_2 and V_2 , menunjukkan ketika nilai frekuensi dan tegangan diperkecil maka nilai torsi akan ikut mengecil.

2.4 Buck Converter^[8]

Buck Converter atau bisa juga disebut dengan *step down* converter, merupakan salah satu jenis DC-DC konverter yang dapat menurunkan tegangan dengan mengkonversikan tegangan keluaran menjadi lebih rendah dari tegangan masukan. Dari namanya yaitu DC-DC converter, rangkaian ini hanya dapat mengubah nilai tegangan DC atau searah saja. Berikut merupakan rangkaian buck converter.



Gambar 2.8 Rangkaian Buck Converter

Gambar 2.8 merupakan rangkaian dari Buck Converter terdiri dari tegangan input (masukan) berupa tegangan DC, MOSFET (saklar aktif), Dioda (saklar pasif), kapasitor, induktor dan beban resistif. Tegangan keluaran rata-rata dari Buck Converter didapat dari persamaan berikut:

$$V_o = D \times V_s \quad \dots\dots\dots 2.11$$

dimana :

V_o = Tegangan Output (V)

D = Duty Cycle

V_s = Tegangan Sumber (V)

Untuk mencari nilai induktor menggunakan persamaan

$$L_b = \frac{(1-D)R}{2f} \quad \dots\dots\dots 2.12$$

dimana L adalah induktor, D adalah *duty cycle*, R adalah tahanan dan f adalah frekuensi yang digunakan. Sedangkan untuk mencari nilai kapasitor menggunakan persamaan

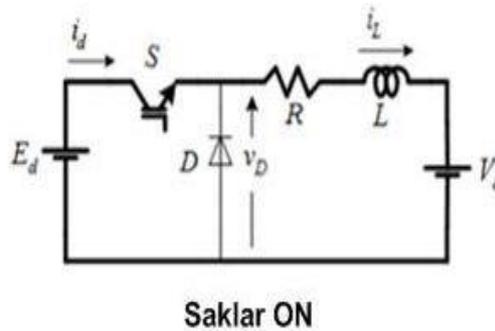
$$C_{min} = \frac{(1-D)V_o}{8V_r L f^2} \quad \dots\dots\dots 2.13$$

dimana C adalah kapasitor, V_o adalah tegangan output, V_r adalah *ripple* tegangan.

Berikut ini prinsip kerja dari Buck Converter ketika ON dan OFF:

1. Saat kondisi saklar ON

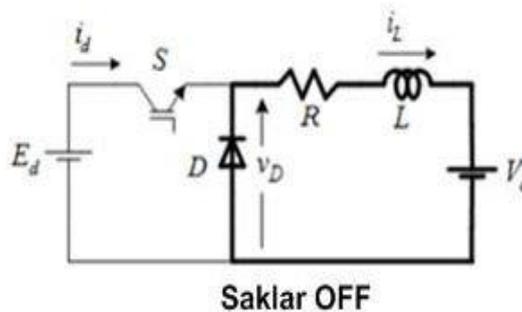
Ketika saat kondisi saklar (*switch*) ON, maka kondisi *switch* akan menutup, sehingga arus yang mengalir yang berasal dari sumber akan menuju ke induktor, dan juga resistor. Pada saat kondisi ini dioda akan mengalami *reverse/block* dan induktor akan menyimpan atau *charging*.



Gambar 2.9 Rangkaian buck converter saat saklar ON^[8]

2. Saat kondisi saklar OFF

Ketika saat kondisi *switch* OFF, maka kondisi switch akan membuka, sehingga sumber tidak terhubung dengan rangkaian. Induktor akan menjadi sumber arus karena pada saat ON telah menyimpan arus, sehingga induktor akan mengalirkan arus ke komponen yang lain.

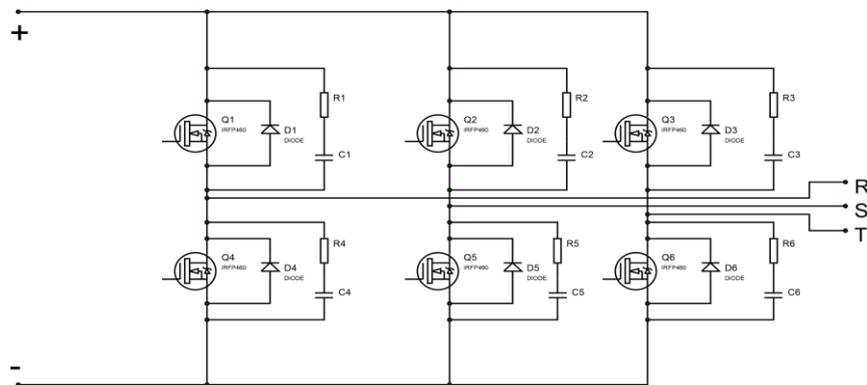


Gambar 2.10 Rangkaian buck converter saat saklar OFF^[8]

2.5 Inverter 3 Fasa^[8]

Inverter merupakan salah satu rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengkonversikan atau mengubah dari tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*). Berdasarkan fasanya, inverter dapat dibagi menjadi 2 yaitu inverter 1 fasa dan inverter 3 fasa. Penggunaan inverter pada kehidupan sehari-hari dapat dijumpai pada penyedia sumber energi listrik cadangan untuk keperluan komputer.

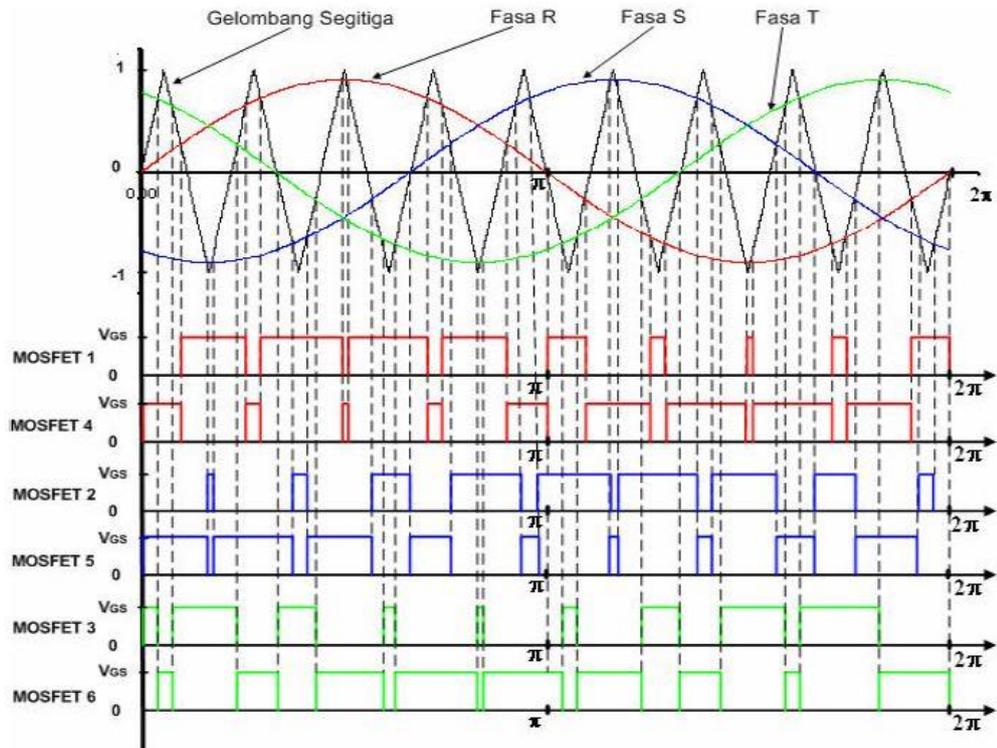
Inverter 3 fasa merupakan jenis inverter dengan tegangan keluarannya adalah tegangan bolak-balik (AC) yang berupa tegangan tiga fasa. Pada rangkaian inverter tiga fasa yang sederhana terdiri dari enam buah saklar yaitu mosfet. Berikut ini merupakan rangkaian dasar dari inverter 3 fasa:



Gambar 2.11 Rangkaian Inverter 3 Fasa

Keluaran dari suatu inverter dapat berupa bentuk gelombang sinus ataupun gelombang kotak. Terdapat beberapa cara agar inverter mampu menghasilkan sinyal sinusoidal yaitu dengan mengatur keterlambatan dari sudut penyalan di tiap lengannya dan cara yang umum digunakan dengan menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*). Sinyal kontrol penyalan akan didapat dengan membandingkan sinyal referensi (sinus) dengan sinyal *carrier* sehingga

frekuensi dan tegangan fundamental akan memiliki frekuensi yang sama dengan gelombang sinus. Berikut ini pemicuan gelombang kotak menjadi gelombang sinus:



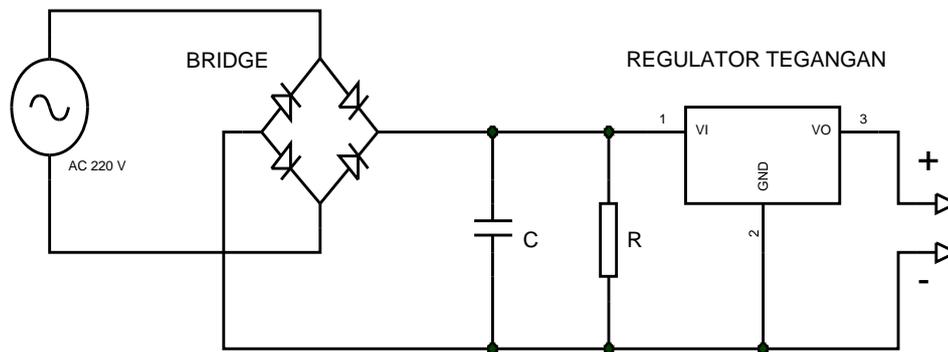
Gambar 2.12 Pemicuan gelombang SPWM^[3]

Aplikasi inverter ini, biasanya digunakan dibidang industri karena fungsi kerjanya dapat mengubah tegangan DC ke tegangan AC. Inverter digunakan dalam mengatur kecepatan motor listrik sehingga kecepatannya dapat kita atur sesuai dengan yang diinginkan, inverter dapat juga disebut dengan VSD (*Variable Speed Drive*) atau VFD (*Variable Frequency Drive*).

2.6 (Power Supply

Power Supply merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk menyuplai arus listrik, dimana *power supply* bekerja dengan mengubah tegangan AC menjadi

tegangan DC. Tegangan DC yang telah dirubah akan dialirkan ke komponen lain yang bekerja terhadap tegangan DC. Berikut ini merupakan rangkaian sederhana dari *power supply*:



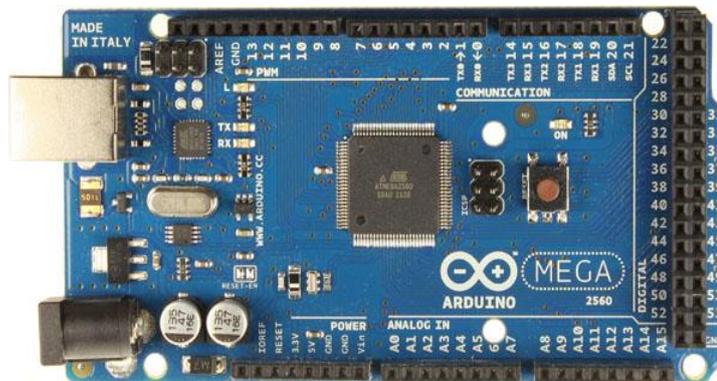
Gambar 2.13 Rangkaian *Power Supply*

Pada gambar 2.13, terdiri dari diode *bridge* yang digunakan sebagai penyearah gelombang bolak-balik yang dihasilkan oleh trafo penurun tegangan. Nilai tegangan yang telah dihasilkan oleh trafo penurun tegangan berupa gelombang AC dan gelombang tersebut akan disearahkan oleh *diode bridge* sehingga gelombang AC akan menjadi gelombang satu arah saja. Kapasitor berfungsi untuk menghilangkan riak gelombang yang telah disearahkan oleh *diode bridge*.

2.7 Mikrokontroler Arduino^{[11] [14]}

Arduino merupakan suatu papan mikrokontroler tipe arduino yang berdasarkan mikrokontroler Atmega. Arduino mempunyai beberapa jenis seperti Arduino uno dan arduino Mega 2560. Arduino 2560 mempunyai 54 digital pin, dimana pin tersebut terdiri dari *input* dan *output* dengan 15 pin dapat digunakan sebagai *output* untuk PWM, 16 analog *input*, 4 UART (*hardware port serial*), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *socket jack*, *header ICSP*, dan tombol *reset*. Semua fasilitas

tersebut digunakan untuk mendukung mikrokontroler agar terhubung dengan komputer dengan kabel USB atau adaptor AC-DC.

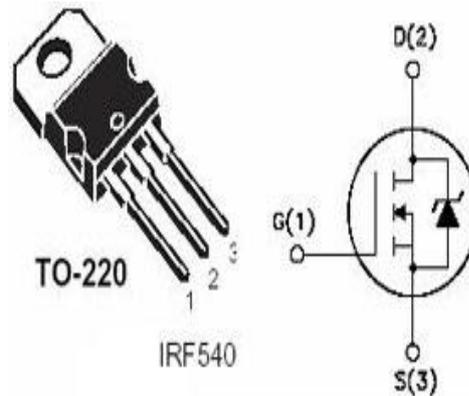


Gambar 2.14 Arduino Mega 2560^[11]

Arduino ini dapat diaktifkan dengan menggunakan USB atau catu daya eksternal. Sumber daya eksternal yang digunakan dapat berupa adaptor AC-DC atau baterai. Apabila menggunakan adaptor dapat dihubungkan dengan steker yang bagian tengahnya terminal positif ke *jack* sumber tegangan yang terdapat pada papan. Sedangkan jika menggunakan baterai dapat langsung dihubungkan melalui pin *header* Gnd dan pin Vin pada konektor *power*.

2.8 MOSFET^[8] ^[13]

MOSFET atau *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* merupakan salah satu jenis transistor yang bekerja sebagai penguat tetapi transistor ini lebih sering digunakan sebagai saklar elektronik. Bahan pembuat dari MOSFET ini adalah bahan semikonduktor yaitu silikon, tetapi terdapat juga kanal MOSFET yang dibuat dengan bahan campuran antara *silicon* dan *germanium* (SiGe). Pada umumnya terdapat dua jenis MOSFET, yaitu tipe N (nMOS) dan tipe P (pMOS).

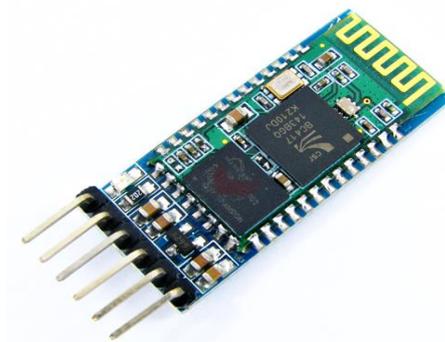


Gambar 2.15 MOSFET^[8]

Gambar 2.15 merupakan bentuk fisik dari MOSFET ini seperti transistor yang mempunyai tiga buah kaki, yaitu: *GATE* (G) merupakan kaki *input*, *DRAIN* (D) merupakan kaki *output* dan *SOURCE* (S) merupakan kaki sumber. MOSFET biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan untuk menggerakkan trafo pada rangkaian *power supply* jenis *switching*. Berdasarkan *datasheet* MOSFET dapat berkerja pada tegangan 10 volt sampai 20 volt DC dengan frekuensi tinggi.

2.9 Bluetooth HC-05^[13]

Bluetooth adalah peralatan komunikasi yang berfungsi untuk menghubungkan suatu perangkat komunikasi dengan perangkat komunikasi yang lainnya tanpa memerlukan kabel (nirkabel). Perangkat *bluetooth* menyediakan layanan pertukaran data, suara maupun gambar. *Bluetooth* sering dijumpai pada kehidupan sehari-hari yang biasanya berada diperalatan ponsel.



Gambar 2.16 *Bluetooth* HC-05^[13]

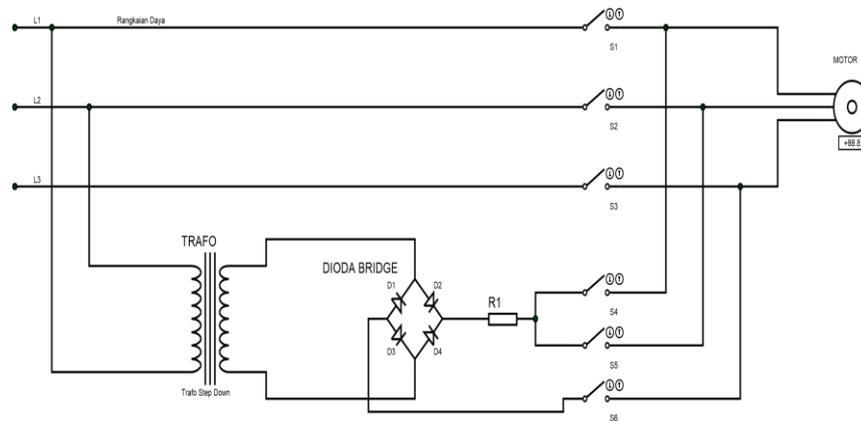
Gambar 2.16 merupakan tampilan dari *bluetooth* HC-05 merupakan suatu modul *bluetooth* yang dapat digunakan sebagai *slave* atau *master*. Keuntungan dari *bluetooth* HC-5 ini memiliki dua mode konfigurasi, yaitu *AT mode* dan *communication mode*. *AT mode* berfungsi untuk mengatur konfigurasi dari HC-05, sedangkan *communication mode* berfungsi sebagai komunikasi *bluetooth* dengan pirant lain. Jarak sinyal dari HC-05 yaitu berkisar 20 meter dengan kondisi tanpa halangan.

2.10 Pengereman Dinamik^{[1][6]}

Pengereman dinamik merupakan suatu metode pengereman yang digunakan untuk menghentikan putaran dari rotor motor induksi. Metode ini mengubah tegangan pada stator dari tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah dalam waktu singkat. Torsi yang dihasilkan pada pengereman tergantung dari besar arus DC yang diinjeksikan pada belitan stator.

Kumparan stator akan mengembangkan medan magnet stasioner yang berasal dari arus searah yang diinjeksikan sehingga tegangan pada rotor akan menurun dan

menghasilkan medan magnet. Kecepatan berputar dari medan magnet akan sama dengan rotor tetapi arahnya berlawanan. Pengereman akan terjadi apabila terdapat interaksi antara medan resultan dengan gerak gaya magnet rotor yang akan mengembangkan torsi yang berlawanan dengan torsi motor. Torsi pengereman akan sebanding dengan arus injeksi, sehingga torsi pengereman bergantung kepada besarnya arus injeksi DC pada belitan stator. Nilai tahanan (R) berpengaruh pada nilai kecepatan torsi pengereman. Semakin kecil nilai tahanan, maka semakin cepat torsi pengereman terjadi. Berikut merupakan gambar rangkaian dari pengereman dinamik:



Gambar 2.17 Rangkaian Pengereman Dinamik^[1]

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan berlangsung dari bulan Januari 2016 sampai bulan Oktober 2016. Tempat dilakukan penelitian ini bertempat di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam melangsungkan penelitian ini, berikut beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Solder dan timah
2. PCB *board* dan cairan *Feritclorite*
3. Multimeter
4. Bor PCB
5. Kabel

Selain itu, berikut komponen-komponen utama yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. *Smartphone Android*
2. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan Arduino Uno
3. Modul *Bluetooth* HC-05
4. Komponen Buck Converter

5. Komponen *Gate Driver*
6. Komponen Inverter
7. Mosfet IRFP460
8. Motor Sangkar Tupai Tiga Fasa
9. Osiloskop
10. Laptop
11. LCD

3.3. Prosedur Penelitian

Dalam tahap melakukan penelitian ini terdapat beberapa tahap yang akan dilakukan, yaitu:

1. Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini untuk mendapatkan gambaran tentang penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan cara mengumpulkan beberapa referensi. Referensi-referensi yang didapat akan dipelajari tentang bagaimana cara mengerjakannya, dan seberapa berbeda penelitian yang akan dilakukan, sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang kita inginkan. Berikut beberapa referensi yang dikumpulkan, yaitu:

- a. Prinsip kerja dari motor induksi
- b. Pengaturan kecepatan motor induksi
- c. Pemrograman aplikasi pada android
- d. Buck Converter
- e. Inverter
- f. Rangkaian filter

g. Pemrograman mikrokontroler Arduino

h. Pengereman motor induksi

2. Perancangan Alat

Tahap perancangan alat merupakan tahap penentuan rangkaian dan nilai-nilai komponen yang digunakan. Berikut beberapa tahapan yang akan dilakukan pada perancangan alat, yaitu tahap pembuatan aplikasi pengendali, modul buck converter, *inverter*, pemrograman pada mikrokontroler Arduino, dan pembuatan *power supply*. Berikut ini merupakan gambar perancangan alat

a. Perancangan aplikasi pengendali

Aplikasi pengendali merupakan suatu control yang terdapat pada *smartphone*. Sebelum berada di *smartphone*, aplikasi dirancang dan dibuat terlebih dahulu. Pembuatan aplikasi ini menggunakan sebuah *software open source* yang dimiliki oleh google, yaitu App Inventor. Pada aplikasi ini terdapat dua buah *sub sistem* yaitu *designer* dan *code block*.

Dua *sub sistem* pada aplikasi App Inventor memiliki fungsi masing-masing. *Designer* merupakan tampilan agar pengguna dapat berinteraksi dengan melihat bentuk tampilan aplikasi yang sedang dirancang. Setelah tampilan yang diinginkan sudah terpenuhi tetapi aplikasi tersebut belum dapat berfungsi, hal ini dikarenakan tampilan tersebut belum terisi oleh program. *Code block* merupakan berisi kumpulan kode suatu program agar desain yang telah dibuat sebelumnya dapat bekerja.

b. Pembuatan modul *power supply*

Modul *power supply* merupakan suatu rangkaian penyearah agar sumber dari tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah agar dapat masuk ke rangkaian. Sumber yang disearahkan oleh *power supply* sebesar 220 volt AC. Komponen pada rangkaian ini berupa trafo, diode bridge, kapasitor, resistor dan IC regulator tegangan. Pada penelitian ini terdapat beberapa *power supply* yaitu untuk sumber buck converter, mikrokontroler, *gate driver*, dan pengereman.

c. Pembuatan modul buck converter

Buck converter merupakan salah satu rangkaian utama pada penelitian ini, hal ini disebabkan karena dapat mengatur nilai tegangan. Pembuatan buck converter harus memiliki hantar arus listrik, bekerja pada frekuensi yang tinggi dan dapat digunakan pada tegangan yang tinggi sebesar 220 volt. Komponen yang digunakan untuk pembuatan buck converter harus dapat bekerja pada tegangan tinggi yaitu mosfet irfp460, diode *freewheeling*, inductor, dan kapasitor.

d. Pembuatan modul inverter

Selain buck converter, inverter juga rangkaian utama pada penelitian ini karena inverter bekerja dengan mengubah nilai frekuensi. Inverter bekerja dengan mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik. Sumber dari inverter ini adalah keluaran dari rangkaian buck converter. Komponen yang digunakan pada inverter yaitu mosfet irfp460, kapasitor dan resistor.

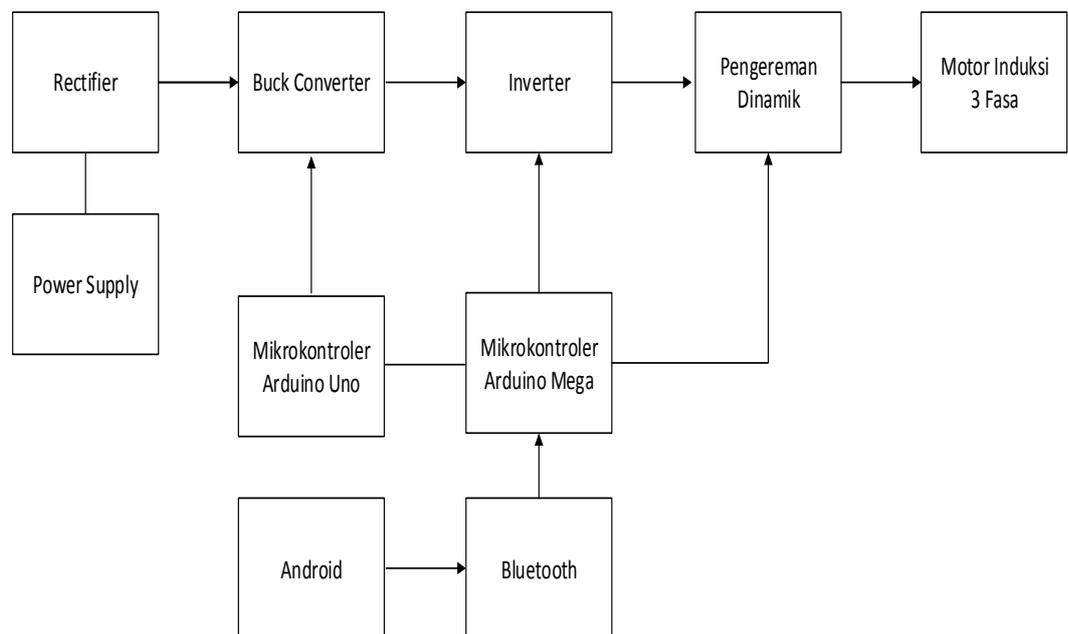
e. Pembuatan pengereman dinamik

Pengereman dinamik pada penelitian ini bertujuan untuk menghentikan kecepatan motor induksi. Komponen pada rangkaian ini berupa *relay* tiga buah dan resistor.

f. Pemrograman Arduino

Pemrograman pada mikrokontroler bertujuan untuk membangkitkan gelombang pwm pada pada rangkaian buck converter dan inverter. Pemrograman untuk membangkitkan gelombang pwm dengan menggunakan *timer interrupt* dan *register OCR*.

Berikut ini diagram blok untuk perancangan alat pada penelitian ini:



Gambar 3.1 Diagram blok perancangan alat

3. Pengujian

Tahap pengujian dilakukan apakah alat yang sudah dirancang berhasil atau tidak. Berikut beberapa tahapan pengujian yang dilakukan:

a. Pengujian aplikasi

Aplikasi pengendali merupakan salah satu perangkat yang sangat penting, dimana aplikasi ini adalah control utama untuk mengendalikan kecepatan motor. Aplikasi untuk pengendali kecepatan dapat dibangun atau dibuat dengan menggunakan *software* App Inventor yang dimiliki oleh google setelah aplikasi ini dibuat kemudian aplikasi ini diinstal terlebih dahulu di *smartphone*. Pada aplikasi terdapat tombol-tombol untuk mengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai tegangan dan frekuensi. Selanjutnya dilakukan sebuah pengujian aplikasi.

Pengujian aplikasi pengendali dengan menghubungkan *smartphone* dengan modul *bluetooth* kemudian melihat suatu proses aplikasi setelah dirancang dan dibuat. Penilaian pengujian ini berhasil atau tidaknya berdasarkan proses pengiriman perintah setelah tombol yang terdapat pada aplikasi ditekan. Selanjutnya melihat apakah perintah yang diberikan dari aplikasi telah berjalan dengan baik.

b. Pengujian mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan otak atau pusat control dari penelitian ini, dimana mikrokontroler ini berfungsi untuk mengontrol secara keseluruhan berupa tegangan, frekuensi dan pengereman. Mikrokontroler dapat

membangkitkan gelombang pwm untuk mengatur tegangan yaitu dengan mengubah nilai *duty cycle* menggunakan *time interrupt* dan *register OCR*. Selain itu dapat mengubah *duty cycle*, mikrokontroler juga dapat mengontrol frekuensi.

Pengujian pada mikrokontroler ini dilakukan untuk melihat apakah bekerja sesuai dengan fungsinya dengan pemrograman mikrokontroler. Pemrograman mikrokontroler berfungsi untuk menuliskan perintah pada mikrokontroler arduino. Perintah yang diberikan berupa perintah untuk menagatur tegangan pada buck converter dan mengontrol frekuensi pada inverter serta rangkaian pengereman.

c. Pengujian *bluetooth*

Pengujian *bluetooth* ini dilakukan untuk melihat apakah perangkat *bluetooth* dapat terhubung dengan aplikasi pengendali yang terdapat di *smartphone*. Pengujian ini juga dilakukan berapa panjang jarak agar *smartphone* dan *bluetooth* dapat terhubung serta dilakukan dalam dua kondisi yaitu dalam keadaan ruang terbuka dan ruang tertutup.

d. Pengujian Buck Converter

Buck converter merupakan rangkaian yang penting pada penelitian ini karena rangkaian ini berfungsi untuk mengatur nilai-nilai dari tegangan *supply* yang diberikan. Pengujian buck converter dilakukan dengan melihat perubahan dari *duty cycle* yang berpengaruh terhadap tegangan yang

diberikan dan tegangan keluaran yang dihasilkan akan lebih kecil dibandingkan tegangan masukan. Pada pengujian ini *duty cycle* yang digunakan yaitu dari 10% sampai dengan 100% dengan sumber 220 volt.

e. Pengujian Inverter

Pengujian inverter dilakukan dengan melihat apakah modul inverter yang sudah dibuat keluaran yang dihasilkan benar atau tidak. Pada pengujian ini dilakukan dengan tegangan DC yang sebagai masukan dapat berubah menjadi tegangan AC yang merupakan keluaran serta melihat bagaimana bentuk gelombang yang dihasilkan. Pada penelitian ini, inverter bekerja dengan dengan mengubah nilai dari frekuensi sehingga kecepatan motor dapat dikontrol.

f. Pengujian Rangkaian Pengereman

Pengujian ini dilakukan untuk melihat proses penghentian putaran motor. Untuk melihat apakah pengereman ini bekerja yaitu ketika tombol pada aplikasi ditekan, putaran motor akan berhenti atau tidak

g. Pengujian keseluruhan

Setelah melakukan pengujian terhadap masing-masing rangkaian, selanjutnya seluruh rangkaian disusun sesuai dengan diagram blok. Seluruh rangkaian yang telah disusun kemudian akan dilakukan sebuah pengujian akhir dengan menggunakan motor induksi tiga fasa. Pengujian dilakukan untuk melihat ketika aplikasi pengendali ketika memberi perintah dengan

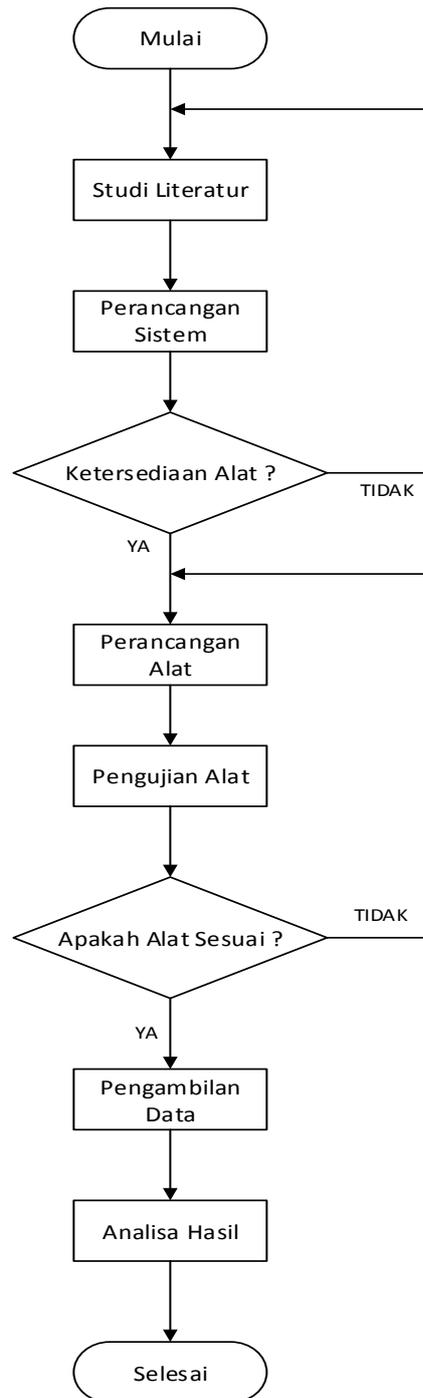
mengubah nilai tegangan dan frekuensi apakah motor akan berputar atau tidak. Selain pengaturan kecepatan motor, dilakukan juga perintah untuk pengeraman motor ketika motor sedang berputar.

3.4. Analisa data hasil pengujian

Setelah pengujian dan pengambilan data telah dilakukan, tahap yang selanjutnya adalah analisa hasil pengujian. Data-data yang telah didapat ini akan dianalisa dan dibandingkan dengan teori yang ada. Dan pada akhirnya dapat diambil kesimpulan akhir penelitian.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Tahapan dari penelitian yang dilakukan dimulai dari studi literatur kemudian dilanjutkan dengan perancangan sistem yang akan dibuat dan diakhiri dengan analisa hasil dari pengambilan data. Adapun *flowchart* dari diagram alir penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Perancangan Alat dan Sistem

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dikontrol sampai jarak maksimal 15 meter, dengan pengaturan perubahan nilai tegangan dan frekuensi.
2. Rangkaian buck converter pada penelitian ini berfungsi untuk mengatur nilai tegangan DC dengan nilai *duty cycle* dari 20% sampai 100% dengan variasi kenaikan sebesar 20%. Rangkaian inverter pada penelitian ini berfungsi untuk mengatur nilai frekuensi dari nilai 40 Hz sampai 55 Hz dengan variasi kenaikan 5 Hz.
3. Selain berpengaruh pada semakin cepatnya putaran motor, perubahan nilai tegangan semakin besar maka akan mengakibatkan nilai torsi juga ikut naik sedangkan perubahan nilai frekuensi semakin besar maka nilai torsi akan semakin menurun.

4. Bila nilai tegangan semakin besar maka nilai arus yang pada motor akan naik. Pada perubahan frekuensi, semakin besar nilai frekuensi maka nilai arus pada motor akan semakin kecil.
5. Bila nilai tegangan dan frekuensi dinaikkan bersama maka kecepatan motor akan semakin cepat, dimana ketika kecepatan motor semakin cepat dan nilai torsi pada motor juga akan semakin naik.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk kesempurnaan pengembangan alat pengendali ini sebagai berikut :

1. Pengaturan tegangan dapat dilakukan dengan mengatur tegangan DC untuk masukan inverter dengan mengganti rangkaian Buck Converter dengan rangkaian converter DC to DC lainnya seperti rangkaian Boost Converter atau Buck-Boost Converter.
2. Sistem operasi pada penelitian ini berupa *open loop* sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan sistem operasi *close loop* sehingga nilai keluarannya dapat diatur dengan sedemikian rupa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arindya, Radita.2013."Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik".Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [2] EL – Sharkawi Mohamed A.2000."Fundamental of Electric Drivers.Brooks.Washington DC.
- [3] Haryanto, Hari."Pembuatan Modul Inverter sebagai Kendali Kecepatan Putaran Motor Induksi".Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [3] Internalis, Baskara.2007."Pengaruh Variasi Tegangan DC Chopper dan Variasi Frekuensi Inverter pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa 1 HP Berbasis Mikrokontroller AT89S51/52".Universitas Diponegoro.
- [5] Jee, Devraj dan Patel, Nikhar.2013."V/f Control of Induction Motor Drive".National Institute of Technology Rourkela.
- [6] Masihin, Elvys Hirsley Anthon.2008."Pemodelan dan Simulasi Pengereman Dinamik Motor Induksi Tiga Fasa".Universitas Indonesia.
- [7] Nugroho, Emmanuel Agung.2009."Inverter Volt/Hertz Kontrol sebagai Pengendali Motor AC 3 Fasa".Universitas Semarang.
- [8] Rashid, M.H.2011."Power Electronics Handbook Third Edition.California:Elsevier, Inc.
- [9] Sardiyanto.2009."Pembuatan Modul Inverter 3 Fasa Sinusoidal Pulse Width Modulation sebagai Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa terhubung Segitiga 220 Volt".Universitas Diponegoro Semarang.
- [10] Theraja, B.L., dan Theraja, A.K.2005."Electrical Technology Volume I: Basic Electrical Engineering". New Delhi: S. Chand & Company.

[11] User Manual DataSheet. 2012. *2.0 Amp Output Current IGBT Gate Drive Optocoupler*. Agilent Technologies.

[12] Wildi, Theodore.2002.”*Electrical Machines, Drives, and Power Systems Fifth Edition*”. Ohio:Prentice Hall.

[13] www.alldatasheet.com

[14] www.arduino.cc