

SKRIPSI

PENGARUH IMPLEMENTASI *VARIABLE FREQUENCY DRIVE* (VFD) PADA PUTARAN MOTOR INDUKSI 3 FASA ROTOR BELITAN

Disusun dan diajukan oleh:

**DEDDY ANGRIADY AGUSSALIM
D041 19 1110**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH IMPLEMENTASI *VARIABLE FREQUENCY DRIVE* (VFD) PADA PUTARAN MOTOR INDUKSI 3 FASA ROTOR BELITAN

Disusun dan diajukan oleh

Deddy Angriady Agussalim

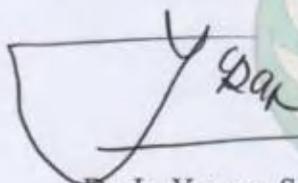
D041191110

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 13 Februari 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T.
NIP 197504042000121001



Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU
NIP 197405301999031003

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. IPM
NIP 19691026 199412 2 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Deddy Angriady Agussalim

NIM : D041191110

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PENGARUH IMPLEMENTASI *VARIABLE FREQUENCY DRIVE (VFD)* PADA PUTARAN MOTOR INDUKSI 3 FASA ROTOR BELITAN

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 3 Maret 2024

Yang Menyatakan



Deddy Angriady Agussalim



KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji syukur kita panjatkan kehadirat *Allah subhanahu wa ta'ala* yang telah memberikan kami rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Implementasi *Variable Frequency Drive* (VFD) Pada Putaran Motor Induksi 3 Fasa Rotor Belitan”.

Dalam proses menyelesaikan skripsi ini saya menyadari bahwa banyak kendala yang dihadapi. Namun, *Allah subhanahu wa ta'ala* memberikan kemudahan, kesabaran, dan juga pertolongan-Nya hingga saya bisa melewati tantangan yang ada. Selain itu, terdapat juga bantuan, dukungan, dan doa dari banyak pihak sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan kali ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini, antara lain :

1. Orang tua yaitu Bapak Agussalim Noer dan Ibu Nurbaeti tercinta serta saudara(i) tersayang Sri Ulfah Agussalim, Miskat Agussalim, Achmad Hidayat Agussalim, dan Shaldy Angryadi Agussalim yang senantiasa memberikan dukungan, bantuan, dan doa dalam bentuk apapun sehingga saya dapat mengerjakan skripsi ini sampai selesai.
2. Bapak Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T. selaku pembimbing I dan Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan motivasi, serta berbagi ilmu selama penelitian dan pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Gassing, M.T. dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. dan Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



seluruh dosen dan staf pegawai di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mengajar, mendidik, dan memberi saran selama masa kuliah.

6. Saudara Gabriel, Dwi, Fauzan, Fitman, Richard, Mahen, Raste, Adheq, Fadil dan Nurfadil yang senantiasa memberikan keyakinan untuk terus menyelesaikan perkuliahan hingga akhir, seperti memberikan hiburan disaat jenuh, menemani canda dan tawa, serta memberikan lose streak yang berkepanjangan.
7. Pengurus Himpunan Mahasiswa Elektro FT-UH Periode 2021/2022 yang telah berkolaborasi, bekerja keras dan pantang menyerah dalam menghadapi dinamika yang terjadi.
8. Pengurus Organisasi Kemahasiswa FT-UH Periode 2023 “Kabinet Rekonstruksi” yang telah berjuang bersama menghadapi dinamika yang hadir dan memberikan pengalaman baru dalam nuansa perjuangan tanpa akhir untuk perubahan. Memberi arti bahwa tak perlu mayoritas untuk perjuangan.
9. Teman-teman di Laboratorium Elektronika Daya, yaitu Musa, Isnun, Adheq dan Namira yang telah kebersamai perjuangan dalam mengerjakan skripsi hingga selesai.
10. Teman-teman konsentrasi energi yang telah bekerja sama, berbagi pengalaman, motivasi, ilmu, dan cerita selama perkuliahan dan praktikum yang telah dilalui bersama.
11. Saudara TR19GER yang telah menjadi teman seperjuangan, memberi banyak kisah, cerita, motivasi, dan waktunya selama menempuh perkuliahan. Selalu ingat kata Closehead “Jangan ragu dan takut melihat dunia, semua akan baik saja. Eratkan harapan bersama, taklukan hidup ini berbekal rasa percaya diri. Semua akan mudah, bila kita kuat bersama”.
12. Saudara Agung, Zaky, Diaz, Yunisha, Suci, Fifin dan Gunawan yang selalu memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan perkuliahan hingga akhir.
13. Teman – teman KKN Tematik 109 Universitas Hasanuddin BPJS Ketenagakerjaan Kecamatan Biringkanaya, Kota Makassar yaitu Richard, man, Salsa, Aul dan Mona yang telah kebersamai dan memberi pengalaman baru selama proses pengabdian masyarakat.



14. Seluruh masyarakat Kecamatan Biringkanaya, Kota Makassar. Khususnya keluarga Bapak Zulfikar atas sarana, prasarana, serta kebaikan yang telah diberikan kepada saya dan teman-teman selama melaksanakan KKN.
15. Seluruh pihak yang telah memberi bantuan, dukungan, serta doa yang tidak dapat disebutkan.

Saya menyadari bahwa terdapat kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik, saran, dan arahan yang dapat menjadi pengembangan ataupun perbaikan dari berbagai pihak. Sehingga dapat dijadikan bahan untuk evaluasi kedepannya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Gowa, 3 Maret 2024

Deddy Angriady Agussalim



ABSTRAK

DEDDY ANGRIADY AGUSSALIM. *Pengaruh Implementasi Variable Frequency Drive (VFD) Pada Putaran Motor Induksi 3 Fasa Rotor Belitan* (dibimbing oleh Yusran dan Syafaruddin)

Perkembangan teknologi yang pesat diperlukan ketersediaan energi listrik yang lebih banyak, sehingga menyebabkan akan terjadinya krisis energi listrik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan penghematan energi terutama pada penggunaan motor induksi pada perindustrian dengan melakukan pengaturan kecepatan sesuai kebutuhan. Hal ini dapat tercapai dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD). VFD dapat memberikan fleksibilitas yang besar dalam menyesuaikan kecepatan motor dan meningkatkan efisiensi energi pada motor induksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh implementasi VFD pada putaran motor induksi 3 fasa rotor belitan dan membandingkan keluaran motor induksi dengan menggunakan dan tanpa menggunakan VFD, sehingga dapat menghasilkan efisiensi yang maksimal pada motor induksi. Penelitian ini menggunakan *software* matlab simulink dengan pemodelan dibuat dalam blok-blok yang kemudian disimulasikan. Perancangan dimulai dengan pemodelan blok komponen yaitu blok suplai daya, blok *rectifier*, blok DC filter, blok *inverter* dan blok motor induksi 3 fasa. Pengumpulan data berupa spesifikasi pada setiap blok yang telah dibuat. Pada simulasi ini akan menunjukkan keluaran motor induksi dan gelombang setiap bloknya. Hasil simulasi menunjukkan implementasi VFD pada motor induksi 3 fasa memiliki pengaruh yang berbanding lurus, semakin besar frekuensi maka semakin besar putaran motor. Perubahan frekuensi dengan menggunakan VFD menghasilkan perbedaan persentase efisiensi pada masing-masing frekuensi yang signifikan. Efisiensi tertinggi terjadi pada frekuensi 50 Hz sebesar 73,41% dan efisiensi terendah terjadi pada 100 Hz sebesar 35,83%. Sedangkan dengan menggunakan VFD efisiensi yang dihasilkan lebih besar yaitu sebesar 73,41% daripada tanpa menggunakan VFD yaitu sebesar 70,99%.

Kata Kunci: Motor induksi, *Variable Frequency Drive* (VFD), Efisiensi



ABSTRACT

DEDDY ANGRIADY AGUSSALIM. *Influence of Variable Frequency Drive (VFD) Implementation on the Rotation of 3-Phase Induction Motors with Wound Rotor* (supervised by Yusran and Syafaruddin)

The rapid advancement of technology necessitates a greater availability of electrical energy, leading to the imminent occurrence of an electricity energy crisis. To address this issue, energy conservation is crucial, especially in the use of induction motors in industries, achieved through speed regulation according to needs. This can be achieved by using Variable Frequency Drive (VFD). VFD provides significant flexibility in adjusting motor speed and improving energy efficiency in induction motors. This research aims to analyze the impact of VFD implementation on the rotation of 3-phase wound rotor induction motors and compare the output of induction motors with and without VFD, to achieve maximum efficiency in induction motors. This study utilizes Matlab Simulink software, with modeling created in blocks that are then simulated. The design begins with the modeling of component blocks, namely the power supply block, rectifier block, DC filter block, inverter block, and 3-phase induction motor block. Data collection involves specifications for each created block. The simulation will display the output of the induction motor and the waveform of each block. Simulation results indicate that the implementation of VFD on the 3-phase induction motor has a direct impact— the higher the frequency, the greater the motor rotation. Changing the frequency using VFD results in significant differences in efficiency percentages at each frequency. The highest efficiency occurs at a frequency of 50 Hz, reaching 73.41%, and the lowest efficiency is at 100 Hz, recording 35.83%. Meanwhile, using VFD yields a higher efficiency of 73.41%, compared to not using VFD, which is 70.99%.

Keywords: Induction motor, Variable Frequency Drive (VFD), Efficiency



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Motor Induksi.....	4
2.1.1 Pengertian Motor Induksi.....	4
2.1.2 Klasifikasi Motor Induksi.....	4
2.1.3 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa	5
2.1.4 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa	7
2.1.5 Pengaruh Frekuensi terhadap Kecepatan	8
2.1.6 Torsi Motor	9
2.1.7 Pengaturan Putaran Motor Induksi.....	9
Efisiensi pada Motor Induksi	11
Efisiensi Daya pada Motor Induksi	11
Efisiensi Faktor Daya	14



2.2	<i>Inverter (Variable Frequency Drive)</i>	14
2.2.1	Pengertian <i>Inverter</i>	14
2.2.2	Klasifikasi <i>Inverter</i>	16
2.2.3	Prinsip Kerja <i>Inverter</i>	18
2.2.4	Prinsip Frekuensi Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan <i>Inverter</i>	20
2.3	Penyearah Gelombang AC (<i>Dioda Rectifier</i>).....	22
2.4	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)</i>	23
2.5	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	24
2.6	Matlab Simulink.....	27
2.7	Penelitian Terdahulu.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....		30
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	30
3.2	<i>Single Line Diagram</i>	32
3.3	Rancangan Sistem.....	33
3.3.1	Suplai Daya Listrik 3 Fasa.....	35
3.3.2	<i>Dioda Bridge/Rectifier</i>	36
3.3.3	Bus DC/DC Filter.....	38
3.3.4	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)</i>	39
3.3.5	Motor Induksi 3 Fasa Rotor Belitan.....	42
3.4	Alat.....	44
3.5	Teknik Pengumpulan Data.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi terhadap Kecepatan Putaran Motor.....	48
4.2	Analisis Tegangan Motor Induksi 3 Fasa.....	50
4.3	Analisis Arus Motor Induksi 3 Fasa.....	52
4.4	Analisis Daya Input Motor Induksi 3 Fasa.....	53
4.5	Analisis Torsi Motor Induksi 3 Fasa.....	54
4.6	Analisis Daya Output Motor Induksi 3 Fasa.....	56
4.7	Analisis Rugi-rugi Daya pada Motor Induksi.....	58
	Analisis Efisiensi terhadap Perubahan Frekuensi Motor.....	59
	Analisis Pengaruh Kapasitansi terhadap Lonjakan Starting dan Putaran pada Motor.....	60



4.10 Analisis Perbandingan Keluaran Motor Induksi 3 Fasa Rotor Belitan dengan menggunakan dan tanpa menggunakan VFD	61
4.11 Gelombang Tegangan dan Arus.....	62
4.11.1 Gelombang Tegangan.....	62
4.11.2 Gelombang Arus	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
1.1 Kesimpulan	68
1.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Konstruksi sederhana motor induksi	5
Gambar 2 Segitiga daya	12
Gambar 3 Rangkaian inverter 1 fasa	16
Gambar 4 Diagram blok inverter	17
Gambar 5 Rangkaian inverter 3 fasa	18
Gambar 6 Prinsip kerja inverter 1 fasa	18
Gambar 7 Diagram blok inverter 3 fasa	19
Gambar 8 Diagram blok variabel frequency drive	20
Gambar 9 Rangkaian rectifier	22
Gambar 10 Rangkaian IGBT	23
Gambar 11 Teknik modulasi lebar pulsa	25
Gambar 12 Sinyal PWM	26
Gambar 13 Logo matlab	27
Gambar 14 Diagram alir penelitian	31
Gambar 15 Single line diagram VFD	32
Gambar 16 Rangkaian simulasi dengan VFD	33
Gambar 17 Rangkaian simulasi tanpa VFD	34
Gambar 18 Diagram blok suplai AC	35
Gambar 19 Spesifikasi suplai AC	36
Gambar 20 Diagram blok rectifier	36
Gambar 21 Spesifikasi dioda	37
Gambar 22 Diagram blok DC filter	38
Gambar 23 Spesifikasi DC filter	39
Gambar 24 Diagram blok inverter	40
Gambar 25 Spesifikasi PWM generator	41
Gambar 26 Spesifikasi IGBT	42
Gambar 27 Diagram blok motor induksi	43
28 Spesifikasi motor induksi	43
29 Grafik perubahan frekuensi terhadap putaran motor	50
30 Grafik perubahan frekuensi terhadap tegangan DC	51



Gambar 31 Grafik perubahan frekuensi terhadap tegangan AC	51
Gambar 32 Grafik perubahan frekuensi terhadap arus	52
Gambar 33 Grafik perubahan frekuensi terhadap torsi	55
Gambar 34 Grafik perubahan frekuensi terhadap daya output	57
Gambar 35 Gelombang tegangan output suplai	62
Gambar 36 Gelombang tegangan output rectifier	62
Gambar 37 Perbesaran gelombang yang memiliki ripple	63
Gambar 38 Gelombang tegangan output DC filter	63
Gambar 39 Perbesaran gelombang ripple teredam	64
Gambar 40 Gelombang tegangan output IGBT	64
Gambar 41 Gelombang tegangan output IGBT dengan tampilan terpisah	65
Gambar 42 Gelombang tegangan output tanpa VFD	65
Gambar 43 Gelombang arus output IGBT	66
Gambar 44 Gelombang arus output tanpa VFD	67



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbandingan karakteristik IGBT dan MOSFET	24
Tabel 2 Spesifikasi blok suplai daya	35
Tabel 3 Spesifikasi blok rectifier	37
Tabel 4 Spesifikasi blok DC filter.....	38
Tabel 5 Spesifikasi blok inverter.....	40
Tabel 6 Spesifikasi komponen	44
Tabel 7 Hasil simulasi matlab simulink	48
Tabel 8 Hasil perhitungan kecepatan putaran motor.....	49
Tabel 9 Perbandingan putaran motor antara hasil simulasi dan hasil perhitungan	49
Tabel 10 Hasil perhitungan daya input motor.....	53
Tabel 11 Hasil perhitungan torsi motor	54
Tabel 12 Perbandingan torsi motor antara hasil simulasi dan hasil perhitungan ..	55
Tabel 13 Hasil perhitungan daya output motor.....	56
Tabel 14 Rugi-rugi daya motor	58
Tabel 15 Hasil perhitungan efisiensi motor	59
Tabel 16 Pengaruh kapasitansi terhadap lonjakan tegangan starting dan putaran pada motor.....	60
Tabel 17 Perbandingan keluaran motor menggunakan VFD dan tanpa VFD	61



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rangkaian blok diagram VFD	72
Lampiran 2 Rangkaian blok alat ukur tegangan dan arus	72
Lampiran 3 Output gelombang putaran dan torsi menggunakan VFD	73
Lampiran 4 Output gelombang putaran dan torsi tanpa VFD	73
Lampiran 5 Output gelombang kapasitansi yang berbeda	74



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Listrik adalah salah satu penunjang utama yang berperan dalam kehidupan manusia modern, bahkan listrik telah menjadi kebutuhan primer untuk beraktivitas. Penggunaan listrik semakin meningkat dari tahun ke tahun dan sumber daya listrik kurang memadai kebutuhan yang ada, maka dibutuhkan cara untuk mengefisiensikan penggunaan energi.

Perkembangan teknologi yang semakin pesat maka diperlukan ketersediaan energi yang cukup. Dilain sisi ketersediaan energi yang semakin menipis, salah satunya adalah energi listrik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan penghematan energi. Motor listrik memegang peranan yang sangat besar baik dalam bidang industri maupun dalam kehidupan sehari-hari. Pada umumnya, penggunaan motor listrik dalam industri untuk menyediakan kerja mekanik seperti memutar pompa dan *blower* sedangkan dalam kehidupan sehari-hari motor listrik digunakan sebagai bagian dari peralatan rumah tangga, seperti televisi, kulkas, kipas angin, dan sebagainya (Hartono & Nurcahyo, 2017).

Motor induksi atau motor tak serempak merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling umum digunakan karena sederhana, konstruksinya kuat dan karakteristik kerja yang baik, namun kelemahan motor induksi 3 fasa adalah sulit dalam melakukan pengaturan kecepatan jika dibandingkan dengan motor jenis lain seperti motor DC, padahal dalam proses produksi dalam sebuah industri sangat membutuhkan pengaturan kecepatan putaran yang dapat diatur sesuai dengan keperluan. Inverter adalah salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan, frekuensi dan tegangan motor induksi 3 fasa.

Pengendalian kecepatan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan cara mengendalikan tegangan dan frekuensi. Pengendalian nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk mengatur kecepatan putaran dan torsi motor yang

n sesuai dengan kebutuhan. *Variable Frequency Drive* (VFD) bertujuan mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar sesuai kebutuhan (Sugeng, 2018). VFD dapat memberikan fleksibilitas dan meningkatkan efisiensi



energi pada motor induksi sesuai dengan bebannya, sehingga dapat hemat energi dan mengurangi biaya operasional.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil implementasi VFD pada motor induksi 3 fasa rotor belitan dengan menggunakan MATLAB simulink, sehingga terdapat hasil pengujian motor induksi 3 fasa rotor belitan. Hal ini dapat menghasilkan data analisis untuk industri dalam penggunaan motor induksi sesuai dengan kapasitas, efisiensi dan hemat energi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh implementasi VFD pada putaran motor induksi 3 fasa rotor belitan?
2. Bagaimana efisiensi motor induksi 3 fasa rotor belitan terhadap penggunaan VFD ketika terjadi perubahan frekuensi pada motor induksi?
3. Bagaimana perbandingan tegangan, arus, daya, torsi, putaran dan efisiensi pada motor induksi 3 fasa rotor belitan dengan menggunakan dan tanpa menggunakan VFD?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh implementasi VFD pada putaran motor induksi 3 fasa rotor belitan.
2. Menganalisis efisiensi motor induksi 3 fasa rotor belitan terhadap penggunaan VFD ketika terjadi perubahan frekuensi pada motor induksi.
3. Menganalisis perbandingan tegangan, arus, daya, torsi, putaran dan efisiensi pada motor induksi 3 fasa rotor belitan dengan menggunakan dan tanpa menggunakan VFD.



1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan informasi berupa hasil simulasi implementasi VFD pada motor induksi 3 fasa rotor belitan melalui pengujian pada matlab simulink. Hal ini dapat menambah data pertimbangan untuk industri dalam penggunaan motor induksi sesuai dengan kapasitas, efisiensi dan hemat energi yang dapat dihasilkan.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Pada penelitian ini melingkupi hal-hal sebagai berikut:

1. Motor Induksi yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa rotor belitan
2. *Inverter* yang digunakan adalah *Variable Frequency Drive* (VFD)
3. Simulasi melalui *software* MATLAB Simulink R2021a

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pemahaman terhadap penelitian ini, maka diuraikan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penulisan, ruang lingkup, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan teori-teori relevan yang mendukung penelitian yang meliputi Motor Induksi 3 Fasa, *Inverter*, Dioda, *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT), *Pulse Width Modulation* (PWM) dan MATLAB Simulink

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi diagram alur penelitian, rancangan sistem, alat dan bahan yang digunakan, serta teknik pengumpulan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai pemodelan sistem menggunakan Matlab Simulink serta pengujian dan analisa data.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat simpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran-saran yang dapat digunakan sebagai tindak lanjut dari penelitian yang telah dilakukan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi

2.1.1 Pengertian Motor Induksi

Mekanisme penggerak listrik dibagi menjadi 2 kategori besar yaitu motor arus bolak-balik (AC) dan motor arus searah (DC). Pada penggunaannya, motor AC terutama motor induksi lebih baik untuk aplikasi industri daripada tipe DC, karena sifatnya yang kasar, pemasangan yang mudah, kemampuan adaptasi, pengendalian dan kemampuan menghasilkan variasi kecepatan dengan menambahkan komponen luar (Eneh & Ene, 2020).

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang paling umum digunakan dalam era modern ini. Penamaan tersebut berasal dari prinsip kerjanya yang terjadi induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini berasal dari arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator, bukan berasal dari sumber tertentu.

Motor induksi banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum digunakan adalah motor induksi 3 fasa dan motor induksi 1 fasa. Motor induksi 3 fasa biasanya digunakan dibidang industri dengan kapasitas yang besar dan motor induksi 1 fasa biasanya digunakan untuk peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci, kulkas, pompa air dan sebagainya. Hal ini dikarenakan motor induksi 1 fasa mempunyai daya keluaran yang rendah (Wirasta Barus, 2022).

2.1.2 Klasifikasi Motor Induksi

Motor induksi diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu

- a. Motor induksi 1 fasa

Motor induksi jenis ini menghasilkan tenaga mekanik dan disuplai dengan 1 fasa. Motor induksi 1 fasa biasa juga disebut motor fasa belah. Adapun macam motor induksi 1 fasa yaitu motor kapasitor, motor kutub bayangan, pulse dan motor seri.



Konstruksi dari motor induksi 1 fasa ini memiliki 1 gulungan kumparan stator yang jika dihubungkan dengan sumber jala-jala listrik tidak menimbulkan medan putar, menghasilkan daya yang rendah, sehingga membutuhkan sebuah alat bantu untuk menghidupkannya. Motor jenis ini banyak digunakan pada peralatan rumah tangga, seperti pompa air, kipas angin, blender dan kulkas (Wirasta Barus, 2022).

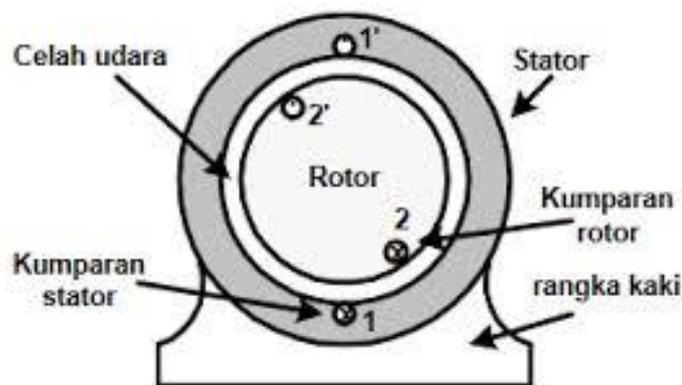
b. Motor induksi 3 fasa

Berbeda halnya dengan motor induksi 1 fasa, motor induksi jenis ini menggunakan 3 buah gulungan kumparan stator yang jika dihubungkan dengan sumber jala-jala listrik akan menimbulkan medan magnet putar dan memiliki daya yang tinggi.

Motor induksi 3 fasa berputar pada kecepatan yang konstan, mulai dari tidak berbeban sampai mencapai keadaan beban penuh. Kecepatan putar motor ini dipengaruhi oleh frekuensi sehingga pengaturan kecepatan tidak dapat dilakukan dengan mudah. Namun keuntungan motor induksi 3 fasa yaitu sederhana, konstruksinya kuat, harganya relatif murah, perawatan yang mudah dan dapat diproduksi dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan industri (Zul Fikri, 2018).

2.1.3 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

Konstruksi motor induksi 3 fasa hampir sama dengan motor listrik jenis lainnya. Motor ini memiliki dua bagian utama, yaitu stator yang merupakan bagian yang diam dan rotor yang merupakan bagian yang berputar.



Gambar 1 Konstruksi sederhana motor induksi
(Wirasta Barus, 2022)



a. Stator

Stator mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik pada kumparan rotor, sehingga stator dianggap bagian primer dari motor induksi. Inti stator terbuat dari lapisan plat baja beralur yang telah dipabrikasi. Stator terdiri dari beberapa bagian yaitu :

- Rumah stator (*body*/badan stator) berfungsi sebagai tempat mengalirnya fluks yang dihasilkan oleh kutub-kutub magnet, oleh karena itu badan motor dibuat dari bahan feromagnetik. Selain itu, rumah stator ini juga berfungsi untuk melindungi bagian-bagian lainnya.
- Inti stator yang terbuat dari lapisan plat baja dan mempunyai alur yang berfungsi sebagai tempat meletakkan belitan (kumparan) stator.
- Belitan stator yang terbuat dari tembaga yang berfungsi sebagai pembangkit efek magnet, sehingga dapat menimbulkan medan magnet untuk membantu adanya medan elektromagnetik.
- Sikat berfungsi sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber dan untuk terjadinya komutasi, agar gesekan antara sikat dan komutator menyebabkan sikat harus lebih lunak dari komutator. Biasanya sikat terbuat dari bahan arang.
- Komutator berfungsi sebagai penyearah mekanik yang bersama-sama dengan sikat arang yang disebut komutasi.

b. Rotor

Rotor merupakan bagian dari mesin yang berputar dan terletak dibagian dalam. Berdasarkan jenis rotornya, motor induksi 3 fasa dibedakan menjadi 2 yaitu rotor belitan (*wound rotor*) dan rotor sangkar tupai (*squirrel cage rotor*). Jenis rotor belitan terdiri dari satu set lengkap belitan 3 fasa yang merupakan bayangan dari belitan pada statornya. Kumparan stator dan rotor juga memiliki jumlah kutub yang sama. Penambahan tahanan luar sampai harga tertentu, dapat membuat kopel mula mencapai harga kopel maksimumnya.

Kopel mula yang besar diperlukan pada saat *starting*. Motor induksi dengan tahanan memungkinkan penambahan (pengaturan) tahanan luar. Tahanan luar diatur dihubungkan ke rotor melalui cincin. Hal ini berfungsi untuk lkan kopel mula yang besar dan untuk mengatasi arus mula yang besar



pada saat start. Selain itu dengan mengubah-ubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur.

Belitan 3 fasa pada rotor belitan biasanya terhubung Y dan setiap ujung dari tiga kawat belitan fasa rotor tersebut dihubungkan pada *slip ring* yang terdapat pada poros rotor. Belitan-belitan rotor ini kemudian dihubungkan melalui sikat (*brush*) yang menempel pada *slip ring* dengan menggunakan sebuah perpanjangan kawat untuk tahanan luar.

2.1.4 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Apabila kumparan stator motor induksi 3 fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3 fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul gaya gerak listrik (GGL) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Kumparan rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus dan sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut *slip*. Bertambahnya beban akan memperbesar kopel motor yang akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga *slip* antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan putarnya medan stator yang terjadi diinduksikan



ya. Semakin besar jumlah kutub maka semakin kecil kecepatan putar stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut sinkron (Wirasta Barus, 2022).

2.1.5 Pengaruh Frekuensi terhadap Kecepatan

Frekuensi pada dasarnya merupakan parameter sangat penting karena akan berpengaruh banyak terhadap peralatan listrik. Frekuensi berpengaruh terhadap kecepatan putaran motor, pada dasarnya motor berputar karena adanya prinsip kerja elektromagnetik, dimana ketika terdapat arus yang mengalir pada suatu penghantar maka akan timbul medan magnet yang mengelilingi penghantar tersebut yang dikenal dengan kaidah tangan kanan dimana ibu jari mewakili arah arus dan keempat jari lainnya mewakili arah medan, sehingga arah arus mempengaruhi arah medan. Lilitan pada stator akan menjadikan inti besi pada stator menjadi magnet dengan kutub tertentu tergantung arah melilitkan lilitan kawatnya.

Jika ada penghantar yang memotong medan magnet tersebut maka akan timbul Gerak Gaya Listrik (GGL) induksi, sehingga bila penghantar tersebut menjadi suatu rangkaian tertutup maka akan timbul arus. Jika ada arus yang terdapat di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya dorong yang disebut dengan Gaya Lorentz.

Kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/loop, maka kedua sisi loop yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/torsi untuk memutar kumparan. Karena perubahan arah arus yang cepat (50 kali tiap detik) maka gaya yang bekerja untuk memutar penghantar tersebut juga semakin cepat, sehingga jika nilai kecepatan perubahan arah arus lebih lambat maka proses terjadi prinsip kerja elektromagnetik dari motor juga berjalan lebih lambat sehingga mempengaruhi kecepatan putar motor. Dengan demikian, maka jika mengubah nilai frekuensi maka seperti mengubah kecepatan motor listrik, dengan nilai perubahan yang linier, sehingga dapat dinotasikan sebagai berikut : (Umar et al., 2021)

$$n = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

n = Putaran per menit

f = Frekuensi (Hz)

Jumlah kutub

ubahan frekuensi juga akan berpengaruh pada kecepatan putar kecepatan motor induksi. Hal yang harus diperhatikan, bahwa dengan pengubah



frekuensi adalah kecepatan fluks yang ada harus diusahakan tetap, agar kopel yang dihasilkan pun tidak berubah, untuk itu tegangan jaringan pun harus diubah seiring dengan perubahan frekuensi (Zulfikar et al., 2019).

2.1.6 Torsi Motor

Torsi adalah putaran dari suatu gaya terhadap suatu poros. Torsi diukur dengan hasil kali gaya dengan jari-jari lingkaran dimana gaya tersebut bekerja. Suatu roda dengan jari-jari r bekerja suatu gaya yang menyebabkan benda berputar dengan kecepatan n putaran perdetik yang dapat dinotasikan sebagai berikut

$$\tau = F \times r \text{ (Nm)} \quad (2)$$

Usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut pada suatu putaran dapat dihitung menggunakan rumus :

$$E = F \times 2 \times \pi \times r \quad (3)$$

Untuk menghitung torsi motor menggunakan rumus :

$$\tau = \frac{5252 \times HP}{n} \quad (4)$$

Atau menggunakan rumus :

$$\tau = \frac{P_{out}}{\omega} \quad (5)$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (6)$$

Dimana :

τ = Torsi (Nm)

HP = Daya Kuda (Watt)

5252 = Konstanta

n = Kecepatan Motor Induksi (rpm)

P_{out} = Daya Keluaran (Watt)

ω = Kecepatan Sudut Putar (rad/s)

Dari persamaan-persamaan diatas dapat digunakan sesuai dengan parameter yang diketahui dan yang diinginkan (Wirasta Barus, 2022).



pengaturan Putaran Motor Induksi

duksi pada umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati 1 sinkronnya. Namun untuk penggunaan tertentu diperlukan suatu

pengaturan agar kecepatan motor induksi dapat diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan. Pengaturan motor induksi memerlukan biaya yang agak tinggi. Biasanya pengaturan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan mengubah jumlah kutub motor, mengubah frekuensi jala-jala, mengatur tegangan jala-jala dan mengatur tahanan luar.

a. Mengubah Jumlah Kutub Motor

Karena persamaan (1), maka perubahan kutub (p) atau frekuensi (f) akan mempengaruhi putaran rotor. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda-beda. Biasanya diperoleh dua perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah dari 2 menjadi 4.

b. Mengubah Frekuensi Jala-Jala

Pengaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah nilai frekuensi tegangan. Hanya saja untuk menjaga keseimbangan kerapatan fluks, perubahan tegangan harus dilakukan bersamaan dengan perubahan nilai frekuensi. Pengaturan frekuensi ini dapat dilakukan dengan menggunakan *inverter*. Tegangan searah yang masuk ke *inverter* akan diubah menjadi tegangan bolak-balik. Dengan mempercepat atau memperlambat periode pulsa yang memacu *thyristor*, frekuensi dan kecepatan motor dapat diatur.

c. Mengatur Tegangan Jala-Jala

Dari persamaan kopel motor induksi $\tau \sim V^2$ diketahui bahwa kopel sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan. Salah satu pengaturan tegangan adalah dengan menggunakan *thyristor*. Penyalaan *thyristor* dilakukan dengan perbedaan sudut fasa 120° . Dengan mengatur sudut penyalaan terhadap perpotongan sumbu nol sedemikian rupa akan diperoleh pengaturan antara $0 < V > V_{maks}$.

d. Pengaturan Tahanan Luar

Tahanan luar dari motor induksi rotor belitan dapat diatur, hal ini memungkinkan dilakukan karena pada motor induksi rotor belitan terdapat *slip*

alui *slip ring* ini tahanan luar dihubungkan dengan tahanan rotor. Dengan dihasilkan karakteristik kopel kecepatan yang berbeda-beda. (Wirasta

22)



2.1.8 Efisiensi pada Motor Induksi

Efisiensi sebuah mesin adalah suatu ukuran seberapa baik mesin dapat mengubah energi masukan listrik ke energi keluaran mekanik. Efisiensi berhubungan langsung dengan rugi-rugi motor induksi terlepas dari desain mesin itu sendiri.

Pada beban-beban dengan nilai yang kecil, rugi-rugi tetap lebih besar dibandingkan dengan keluaran, untuk itu efisiensi yang dihasilkan rendah. Sebagaimana beban bertambah, efisiensi juga bertambah dan menjadi maksimum. Ketika rugi inti dan rugi variabel adalah sama. Efisiensi maksimum terjadi sekitar 80 – 95% dari rating output mesin, dimana nilai-nilai yang lebih tinggi terdapat pada motor-motor yang besar. Jika beban yang diberikan melebihi beban yang menghasilkan efisiensi maksimum, maka rugi-rugi beban bertambah lebih cepat daripada output, konsekuensinya efisiensi berkurang.

Kinerja motor dipengaruhi oleh kualitas daya yang masuk, yang ditentukan oleh tegangan dan frekuensi aktual dibandingkan dengan nilai dasar. Fluktuasi dalam tegangan dan frekuensi yang lebih besar daripada nilai yang diterima memiliki dampak yang merugikan pada kinerja motor. Ketidakseimbangan tegangan bahkan dapat lebih merugikan terhadap kinerja motor dan terjadi apabila tegangan 3 fasa dari motor tiga fasa tidak sama. Hal ini disebabkan oleh perbedaan pasokan tegangan setiap fasa dari 3 fasa. Dapat juga diakibatkan dari penggunaan kabel dengan ukuran yang berbeda pada sistem distribusinya (Wirasta Barus, 2022).

2.1.9 Daya pada Motor Induksi

Daya adalah energi yang dikonsumsi untuk melakukan sebuah usaha. Dalam sebuah sistem kelistrikan, daya merupakan ukuran besarnya laju hantaran energi listrik ketika komponen kelistrikan tersebut beroperasi. Satuan daya listrik menurut SI (Satuan Internasional) adalah Watt (W) yang menyatakan besarnya usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan untuk mengalirkan arus listrik menuju beban tiap satuan waktu joule/detik (j/s). Daya dalam motor induksi selain dinyatakan dalam Watt (W) juga dinyatakan dalam *Horsepower* (HP), 1 HP setara dengan 746 Watt.

Untuk mengetahui nilai daya input dan daya output yang ada pada motor maka dapat ditentukan besar nilai daya yang terbuang pengujian pada motor



induksi yang biasa juga disebut rugi-rugi daya. Rugi-rugi daya ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Zahari, 2023):

$$P_{\text{rugi-rugi}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \quad (7)$$

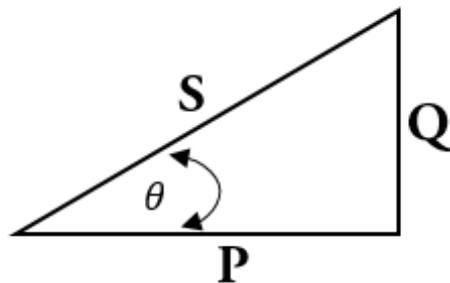
Dimana :

$P_{\text{rugi-rugi}}$ = Rugi-rugi daya (Watt)

P_{in} = Daya input (Watt)

P_{out} = Daya output (Watt)

Daya terdiri dari 3 macam yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Untuk mengetahui nilai masing-masing daya dapat menggunakan konsep segitiga daya seperti yang ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 2 Segitiga daya

1. Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya yang sebenarnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah Watt (W), untuk simbol dari daya aktif adalah P. Daya aktif pada beban yang bersifat resistif, dimana tidak mengandung induktor grafik gelombang tegangan dan arus, sehingga besar daya ini merupakan perkalian dari tegangan dan arus (Zahari, 2023).

Untuk mengetahui daya aktif 1 fasa dengan persamaan berikut :

$$P = V_{LN} \times I \times \cos \theta \quad (8)$$

Untuk mengetahui daya aktif 3 fasa dengan persamaan berikut :

$$P = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \times \cos \theta \quad (9)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

V_{LN} = Tegangan fasa-netral (Volt)

V_{LL} = Tegangan fasa-fasa (Volt)

I^* = Arus (Ampere)



$\cos \theta$ = Faktor Daya

2. Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet. Satuan dari daya reaktif adalah Volt Ampere reaktif (VAr), sedangkan simbolnya adalah Q. Daya reaktif timbul dari beban yang bersifat induktif. Dengan menggunakan kapasitor, daya reaktif ini dapat diperkecil, hal serupa sering dilakukan pada industry yang menggunakan banyak motor listrik sebagai beban (Zahari, 2023).

Untuk mengetahui daya aktif 1 fasa dengan persamaan berikut :

$$Q = V_{LN} \times I \times \sin \theta \quad (10)$$

Untuk mengetahui daya aktif 3 fasa dengan persamaan berikut :

$$Q = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \times \sin \theta \quad (11)$$

Dimana :

- Q = Daya Reaktif (VAr)
- V_{LN} = Tegangan fasa-netral (Volt)
- V_{LL} = Tegangan fasa-fasa (Volt)
- I = Arus (Ampere)

3. Daya Semu

Daya semu merupakan daya nyata yang disalurkan oleh pembangkit menuju konsumen listrik. Satuan daya semu adalah Volt Ampere (VA), sedangkan simbol dari daya semu adalah S. Daya semu merupakan perkalian antara tegangan dengan arus (Zahari, 2023).

Untuk mengetahui daya aktif 1 fasa dengan persamaan berikut :

$$S = V_{LN} \times I^* \quad (12)$$

Untuk mengetahui daya aktif 3 fasa dengan persamaan berikut :

$$S = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I^* \quad (13)$$

Dimana :

- S = Daya Semu (VA)
- V_{LN} = Tegangan fasa-netral (Volt)
- V_{LL} = Tegangan fasa-fasa (Volt)
- I^* = Arus Konjugat (Ampere)



2.1.10 Faktor Daya

Faktor Daya merupakan komponen yang penting dalam sebuah sistem distribusi listrik, karena sumber tenaga listrik (Volt Ampere/VA) yang menunjukkan energi secara nyata (Watt) dipengaruhi tinggi rendahnya faktor daya. Faktor daya diperlukan setinggi mungkin, karena arus suplai pada beban dengan daya besar akan mendisipasikan energi pada kabel suplai cukup besar. Beban dengan faktor daya rendah akan menarik arus yang besar dan energi yang tidak berharga (kVAr) pada kawat penghantar besar. Sehingga beban yang mempunyai faktor daya yang rendah akan menurunkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik. Oleh karena itu, beban industri dan pelanggan dengan daya besar, faktor daya rendah akan sangat berpengaruh. Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dengan daya semu. Adapun untuk mengetahui nilai faktor daya dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Mukti Pramono, 2021) :

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (14)$$

Dimana :

- $\cos \theta$ = Faktor Daya
- P = Daya Aktif (Watt)
- S = Daya Semu (VA)

2.2 Inverter (Variable Frequency Drive)

2.2.1 Pengertian Inverter

Inverter adalah suatu rangkaian yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC berupa sinyal sinusoidal setelah melalui pembentukan gelombang dan rangkaian filter, tegangan output yang dihasilkan harus stabil baik amplitudo tegangan maupun frekuensi tegangan yang dihasilkan, distorsi yang rendah, tidak terdapat tegangan transien dan tidak dapat diinterupsi oleh suatu keadaan, nilai tegangan dan frekuensi yang diatur. Fungsi *inverter* adalah untuk merubah kecepatan motor AC dengan cara merubah frekuensi inputnya. Fungsi *inverter*



untuk merubah kecepatan AC dengan cara mengubah frekuensi outputnya. *inverter* terdiri dari rangkaian utama yang dibentuk oleh rangkaian penyearah i kendalikan atau tidak untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi

arus searah (DC) dan menghilangkan riak terdapat pada arus searah. Penyearah berfungsi sebagai tegangan pengisi daya pada baterai/akumulator ketika sumber tegangan *inverter* dari baterai telah habis. Untuk mencegah kerusakan pada baterai karena pengisian daya yang berlebihan, maka harus menambahkan sirkuit penyearah sirkuit otomatis yang akan memutuskan proses pengisian ketika tegangan pada baterai penuh (Azis H et al., 2019).

Inverter atau *Variable Frequency Drive* (VFD) merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor. Pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang diinginkan atau sesuai dengan kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar *inverter* dapat mengubah frekuensi dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang dapat diatur.

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (*converter AC-DC*) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkendali (*rectifier diode*) namun juga ada yang menggunakan penyearah kendali (*thyristor rectifier*). Setelah tegangan sudah diubah menjadi DC maka diperlukan perbaikan kualitas tegangan DC dengan menggunakan tendon kapasitor sebagai perata tegangan. Kemudian tegangan DC diubah menjadi tegangan AC kembali oleh *inverter* dengan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*).

Dengan teknik PWM ini bisa didapatkan amplitudo dan frekuensi keluaran yang diinginkan. Selain itu, teknik ini juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil daripada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal, sehingga teknik PWM inilah yang biasa digunakan dalam mengubah tegangan DC menjadi AC (*Inverter*) (Zul Fikri, 2018).

VFD adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengatur kecepatan motor AC 3 fasa dengan cara mengubah frekuensinya. Fungsi dari VFD adalah untuk mengontrol energi dari suplai utama ke proses melalui motor listrik, dengan cara mengontrol dua besaran yaitu torsi dan kecepatan. Kapasitas daya tidak ada batasan

gantungan kebutuhan produksi (Azan, 2022).

Intungan dari operasi pengumpanan *inverter* biasanya dimungkinkan mendapatkan setidaknya torsi terukur. Pada kecepatan nol tanpa menarik arus



berlebih dari suplai listrik. Tidak ada metode awal lain yang dimiliki kemampuan ini, sehingga dalam beberapa aplikasi biaya yang relatif tinggi dari *inverter* dibenarkan semata-mata dengan alasan *potensi start-upnya* (Sutikno, 2019).

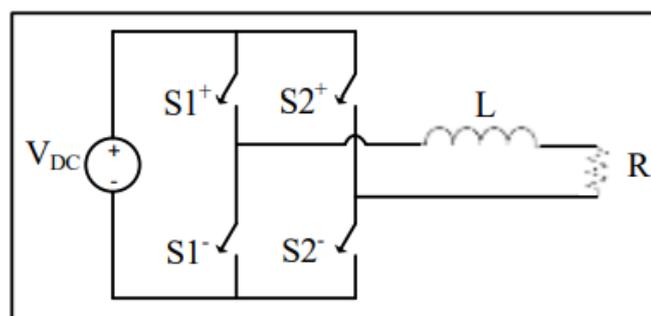
VFD mempertahankan nilai tegangan keluaran terhadap frekuensi (V/F) dengan nilai rasio konstan pada semua kecepatan. Jika tegangan yang sama diterapkan pada frekuensi yang berkurang, maka fluks magnetik akan meningkat dan menjenuhkan inti magnetik yang secara signifikan mendistorsi kinerja motor sehingga bekerja pada kondisi yang tidak normal. Saturasi magnetik dapat dihindari dengan menjaga konstan fluks magnetik. Selain itu, torsi motor dihasilkan dari fluks stator dan arus rotor. Untuk mempertahankan nilai torsi, maka harus menjaga rating nilai pada fluks yang dilakukan dengan menjaga tegangan terhadap frekuensi (V/F) rasio konstan (Panasetzky et al., 2016).

Untuk itu dibutuhkan penurunan dari tegangan motor dalam proporsi yang sama dengan frekuensi untuk menghindari kejenuhan magnetik. Jika motor diputar dengan frekuensi yang lebih tinggi daripada dasarnya mengakibatkan pengurangan terhadap torsi yang dihasilkan, sehingga menyebabkan arus magnetisasi berkurang dan mengakibatkan melemahnya medan magnet (Nurul Huda, 2012).

2.2.2 Klasifikasi *Inverter*

a. *Inverter* 1 Fasa

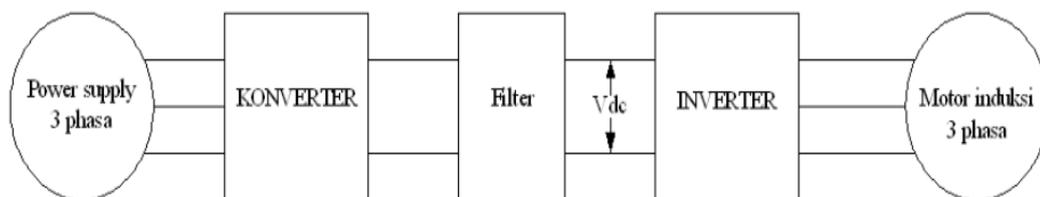
Inverter merupakan suatu rangkaian penyaklaran elektronik yang dapat mengubah sumber tegangan arus searah (DC) menjadi tegangan arus bolak-balik (AC) dengan besar tegangan bolak-balik yang dapat diatur. Tegangan bolak-balik berbentuk gelombang persegi dan pada pemakaian tertentu diperlukan filter untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal.



Gambar 3 Rangkaian *inverter* 1 fasa
(Jahan Al Achmad et al., 2018)



Pengaturan besar tegangan dapat dilakukan dengan 2 cara. Pertama dengan cara pengatur tegangan input DC dari luar tetapi lebar waktu penyalaan tetap. Kedua, mengatur lebar waktu penyaklaran dengan tegangan input DC tetap. Pada cara yang kedua besar tegangan AC efektif yang dihasilkan merupakan fungsi dari pengaturan lebar pulsa penyaklaran. Cara inilah yang disebut dengan *Pulse Width Modulation* (PWM). Struktur *inverter* umumnya mempunyai bentuk seperti pada Gambar 4



Gambar 4 Diagram blok *inverter*

Inverter terdiri dari sebuah rangkaian utama yang berbentuk dari rangkaian penyearah/*rectifier* yang dikontrol atau tidak (yang mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus (DC) dan menghilangkan riak (*ripple*) yang terdapat pada arus searah). Sebuah rangkaian *inverter* ini dengan frekuensi yang beragam dan sebuah rangkaian kontrol/rangkaian pengaturan penyalaan yang digunakan untuk mengatur tegangan dan frekuensi yang dihasilkan *inverter* (Zul Fikri, 2018).

b. *Inverter* 3 Fasa

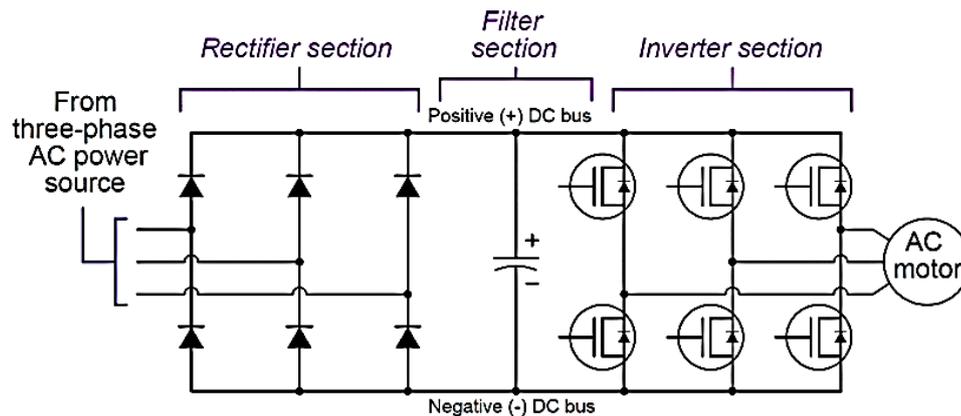
Inverter 3 fasa merupakan *inverter* dengan tegangan keluaran berupa tegangan bolak-balik (AC) 3 fasa per segi. Sebuah rangkaian dasar *inverter* 3 fasa tunggal sederhana terdiri dari 3 buah *inverter* 1 fasa dengan menggunakan mosfet daya (*power mosfet*) sebagai sakelar (Zul Fikri, 2018).

Inverter sumber tegangan 3 fasa adalah peralatan elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang bekerja dengan prinsip *switched mode* yang rangkaian dasarnya seperti pada gambar 2.3.

Kedudukan saklar-saklar yang berpasangan (1 dan 2, 3 dan 4, 5 dan 6) diatur an hingga setiap pasang tidak pernah bersama-sama on ataupun sama. Jika saklar 1 dalam keadaan on, maka saklar 2 berada dalam keadaan off



atau sebaliknya. Demikian pula untuk pasangan 3-4 dan 5-6 (Hartono & Nurcahyo, 2017).

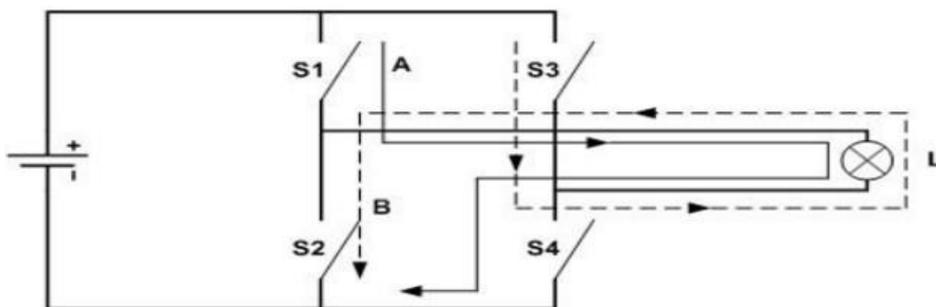


Gambar 5 Rangkaian *inverter* 3 fasa
(Martin et al., 2023)

2.2.3 Prinsip Kerja *Inverter*

a. *Inverter* 1 Fasa

Bentuk rangkaian dari *inverter* 1 fasa dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 6 Prinsip kerja *inverter* 1 fasa
(Zul Fikri, 2018)

Dari gambar diatas, terlihat bahwa sumber tegangan yang ada merupakan sumber tegangan DC sebagai sumber yang akan diubah menjadi tegangan AC. S1, S2, S3 dan S4 merupakan sakelar yang pada penerapan sebenarnya dapat berupa transistor, SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) atau FET (*Field Effect Transistor*) dan L merupakan beban.

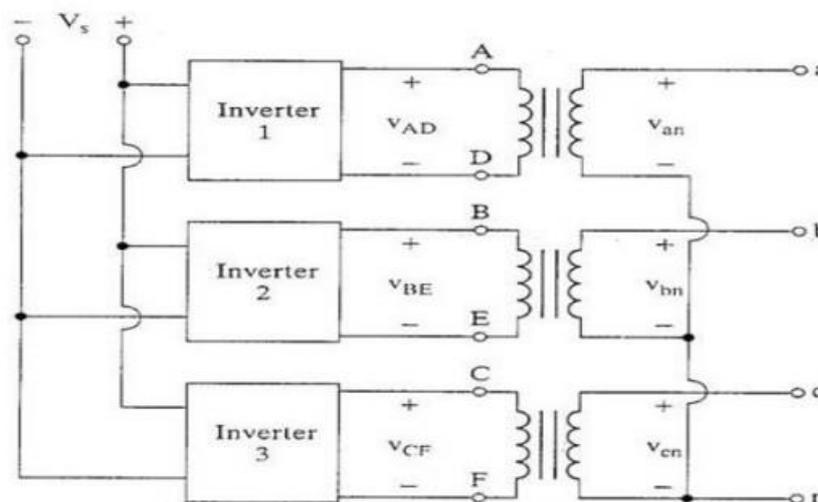


Prinsip kerja *inverter* 1 fasa dapat digambarkan melalui gambar 2.3. pada sakelar S1 dan S4 ditutup secara bersamaan, maka akan timbul tegangan AC, dimana arus listrik akan mengalir dari sumber, S1, beban, S4 lalu ke

sumber lagi. Kemudian S1 dan S4 dibuka kembali sedangkan S2 dan S3 yang ditutup, akibatnya muncul beda tegangan antara beban, dengan demikian arus listrik akan mengalir dari sumber, S3, beban, S2, lalu ke sumber lagi. Jika hal ini dilakukan terus menerus maka pada titik A dan B akan muncul tegangan AC (Zul Fikri, 2018).

b. *Inverter 3 Fasa*

Pada dasarnya prinsip kerja *inverter* 3 fasa sama dengan *inverter* 1 fasa, yaitu dengan mengubah arus searah menjadi bolak-balik dengan frekuensi yang beragam, dimana tegangan arus DC ini dihasilkan oleh sirkuit konverter untuk kemudian diubah lagi menjadi arus AC oleh sirkuit *inverter*. Tegangan suplai merupakan sumber DC dengan tegangan sebesar V_s , dengan titik netral merupakan titik hubung dari titik bintang (Y) pada beban. Terdapat 2 jenis mode operasi dari *inverter* jenis ini, yaitu mode kondisi 120° dan mode konduksi 180° .

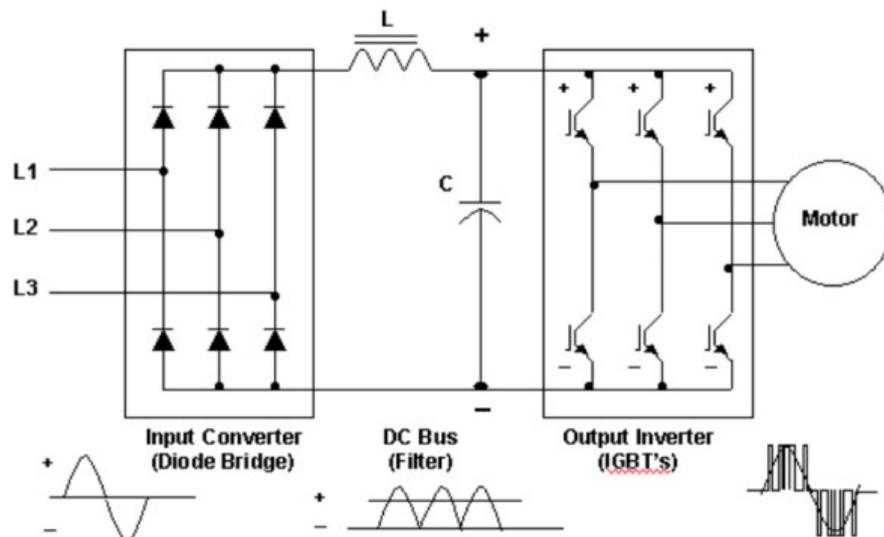


Gambar 7 Diagram blok *inverter* 3 fasa
(Zul Fikri, 2018)

Inverter memiliki 2 buah sirkuit utama yaitu konverter dan sirkuit *inverter*, sirkuit konverter berfungsi untuk mengubah daya komersial AC menjadi arus searah serta menghilangkan *ripple* akibat penyearahan yang akan dilakukan oleh dioda-dioda pada sirkuit konverter ini dengan menggunakan kapasitor penghalus (C). Tegangan DC dari konverter itu kemudian menjadi sumber tegangan untuk transistor-transistor pada sirkuit konverter selain berfungsi sebagai pengubah juga memiliki fungsi lain yaitu transistor-transistor juga mempunyai tugas untuk mengatur frekuensi keluaran *inverter* yang beragam (Zul Fikri, 2018).



2.2.4 Prinsip Frekuensi Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan *Inverter*



Gambar 8 Diagram blok *variabel frequency drive*
(Taufik et al., 2019)

Gambar 8 menunjukkan diagram blok *inverter* VFD. Prinsip kerja *inverter* VFD yang sederhana adalah tegangan yang masuk dari jala-jala 50 Hz dialirkan ke penyearah DC dan ditampung ke *bank capacitor*, sehingga mengubah AC menjadi DC. Tegangan DC kemudian diumpungkan ke *board inverter* yang untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai dengan kebutuhan. Jadi dari DC ke AC yang komponen utamanya adalah semikonduktor aktif. Dengan menggunakan frekuensi *carrier* (bias sampai 20 kHz), tegangan DC dicacah dan dimodulasi sehingga keluar tegangan dan frekuensi yang diinginkan (Zul Fikri, 2018).

Inverter ini memungkinkan pembalikan arus fasa kembali ke kapasitor DC bus. Sistem pengurangan ini akan dilakukan dengan mengendalikan IGBT melalui sinyal PWM. Pemulihan listrik pada sistem akan terjadi dengan mengendalikan IGBT bawah inverter melalui sinyal PWM dan menonaktifkan semua IGBT atas, sehingga memungkinkan pembalikan arah arus fasa yang akan kembali mengalir ke kapasitor (Maciejewski et al., 2023)

Perubahan frekuensi motor induksi 3 fasa bias dilakukan dengan berbagai macam metode, salah satunya dengan menggunakan *inverter*. Awalnya rangkaian bekerja dengan menggunakan V_{in} 380/400 VAC dengan frekuensi 50 Hz. liubah menjadi DC melalui *dioda bridge*, tegangan yang telah diserahkan 1 menyuplai kapasitor (untuk menyimpan muatan listrik) yang berguna



untuk memperbaiki bentuk gelombang *ripple* yang dihasilkan oleh dioda dan tegangan yang sudah diperbaiki *ripplenya* kemudian dilanjutkan ke resistor untuk membagi tegangan yang dihasilkan menjadi 24 VDC dan tegangan ini digunakan untuk menyuplai osilator sementara.

Osilator berfungsi sebagai pembagi sinyal atau yang sering disebut *Pulse Width Modulation*, setelah frekuensi terkendali dibangkitkan lalu diumpankan sinyalnya ke gate dari mosfet. Rangkaian VFD ini digunakan untuk mengubah tegangan 24 VDC keluaran dari boost converter menjadi tegangan AC 380/400 Volt dengan frekuensi yang bias diatur-atur (variabel) untuk mengatur putaran motor induksi 3 fasa, komponen semikonduktor yang digunakan adalah IGBT. Dalam hal ini yang dimaksud adalah pengendali motor AC bisa dikendalikan menggunakan *inverter/VFD* (Zul Fikri, 2018).

Ketika dihubungkan dengan VFD, kecepatan motor tidak lagi ditentukan oleh frekuensi suplai, karena VFD dapat memvariasikan frekuensi outputnya. Dalam kondisi sempurna, pada kecepatan nol tegangan terminal juga akan menjadi nol. Jika hal ini terjadi, motor akan menghasilkan torsi nol. Pada kecepatan yang sangat rendah, belitan motor tampak lebih seperti beban resistif dibandingkan induktif. Untuk mengatasi masalah ini, tingkat peningkatan tegangan tetap diterapkan pada kecepatan nol. Ketika motor berakselerasi, sebagian dari dorongan tetap digantikan oleh rasio V/F normal sampai pada kecepatan tertentu di atas nol, diatur oleh jumlah dorongan tetap yang diterapkan semua dorongan digantikan oleh rasio V/F normal. Jika dorongan tetap yang diberikan terlalu banyak, motor dapat menjadi terlalu panas karena fluks yang berlebihan (Gandhi et al., 2014).

VFD yang digunakan untuk mengontrol kecepatan motor induksi namun menyuntikkan harmonisa ke dalam rangkaian dan harmonisa menyebabkan arus motor memuncak, osilator torsi yang tidak mati dan menghasilkan pemanasan tambahan. Harmonisa ini dapat dihilangkan dengan menggunakan filter. Tujuan dari filter adalah untuk memastikan untuk gelombang arus dan tegangan sinusoidal pada motor induksi dengan menghubungkan induktor dan kapasitor. Ketika filter



lai ditambahkan, bentuk gelombang arus motor membaik, osilator torsi setelah transien awal dan bentuk gelombang keluaran konverter menjadi 1 (Kumar, 2018).

Pada saat VFD terjadi *starting* terjadi lonjakan tegangan dan arus listrik. Fenomena ini disebut fenomena transien listrik yaitu perubahan tiba-tiba atas tegangan dan arus listrik akibat gangguan, pemutusan atau penyambungan pada sistem yang bersifat sementara dalam waktu yang sangat singkat (Ogheneakpobo J., 2016).

Lonjakan tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Ong, 1997):

$$V_{dc} = \frac{1}{C} \int I dt \quad (15)$$

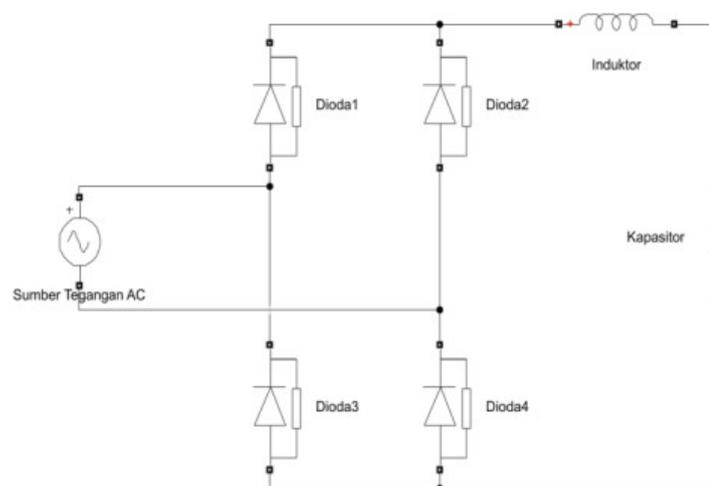
Setelah terjadi *starting* maka dalam waktu yang sangat singkat maka tegangan turun menuju kondisi *steady state*. Tegangan pada kondisi tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \times V_{peak} - V_{diode} \quad (16)$$

Dimana :

- V_{dc} = Tegangan DC (Volt)
- C = Kapasitansi (μF)
- I = Arus (Ampere)
- V_{peak} = Tegangan puncak (Volt)
- V_{diode} = Tegangan diode (Volt)

2.3 Penyearah Gelombang AC (Dioda Rectifier)

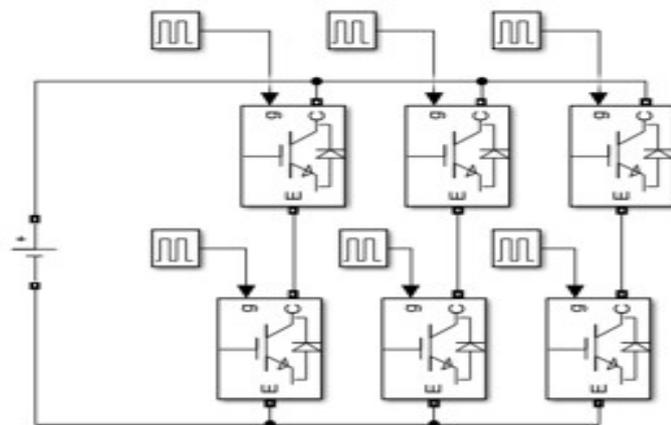


Gambar 9 Rangkaian *rectifier*



Penyearah tegangan atau biasa disebut dengan *rectifier* merupakan suatu bagian dari rangkaian catu daya atau *power supply* yang berfungsi sebagai pengubah tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Rangkaian *rectifier* atau penyearah tegangan ini pada umumnya menggunakan dioda sebagai komponen utamanya. Hal ini dikarenakan fungsi dioda sebagai penyearah dan karakteristik utamanya yaitu melewatkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus dari arah sebaliknya. Rangkaian dioda sendiri jika dialiri tegangan AC maka akan melewatkan setengah gelombang dan setengahnya lagi diblokir (Wirasta Barus, 2022).

2.4 Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)



Gambar 10 Rangkaian IGBT

IGBT adalah piranti semikonduktor yang setara dengan gabungan sebuah transistor bipolar (BJT) adalah sebuah transistor efek medan (MOSFET). Jenis komponen baru yang berfungsi sebagai komponen saklar untuk aplikasi daya ini muncul sejak tahun 1980-an. IGBT secara umum memiliki kecepatan yang lebih tinggi dari BJT walaupun tidak secepat transistor. IGBT menyediakan karakteristik *drive* dan keluaran yang lebih superior dibandingkan dengan BJT. IGBT lebih cocok digunakan untuk aplikasi tegangan tinggi, arus yang besar dan frekuensi diatas 20 kHz (Zul Fikri, 2018).



IGBT berfungsi untuk mengubah saklar menjadi ON atau OFF hingga beribu-ribu kali dalam satu detik dan mengontrol tegangan yang keluar. IGBT ini menggunakan PWM untuk mensimulasikan gelombang sinus pada saat terjadinya perubahan frekuensi pada motor (Rianti Purnomo, 2018).

Pada umumnya pabrik semikonduktor mengetahui bahwa IGBT telah mendominasi aplikasi seperti pengendalian motor-motor AC. Namun, mereka juga mengetahui pasar untuk *switching regulator* jenis *off-line* (bekerja pada frekuensi tinggi) jauh lebih besar daripada yang digunakan untuk mengendalikan motor. IGBT merupakan komponen elektronika daya yang memiliki karakteristik gabungan antara transistor, MOSFET dan GTO.

IGBT mempunyai impedansi tinggi sehingga hanya memerlukan arus kecil untuk mengaktifkannya. Serupa dengan transistor, IGBT memiliki tegangan kondisi menyala yang kecil meskipun komponen ini mampu memblokir tegangan negatif seperti halnya GTO dan mempunyai rating tegangan yang besar. Berikut perbandingan antara karakteristik IGBT dan MOSFET berdasarkan piranti penyaklaran daya (Amalia Yunia Rahmawati, 2020)

Tabel 1 Perbandingan karakteristik IGBT dan MOSFET

Karakteristik	MOSFET	IGBT
Tipe pengemudi	Tegangan	Tegangan
Daya pengemudi	Minimum	Minimum
Tingkat kerumitan pengemudi	Sederhana	Sederhana
Kemampuan arus pada nilai tegangan drop di ujung-ujung terminal piranti	Tinggi pada tegangan rendah, rendah pada tegangan tinggi	Sangat tinggi (dipengaruhi oleh kecepatan penyaklaran)
Rugi penyaklaran	Sangat rendah	Rendah sampai sedang (dipengaruhi oleh rugi konduksi)

Sumber: (Amalia Yunia Rahmawati, 2020)

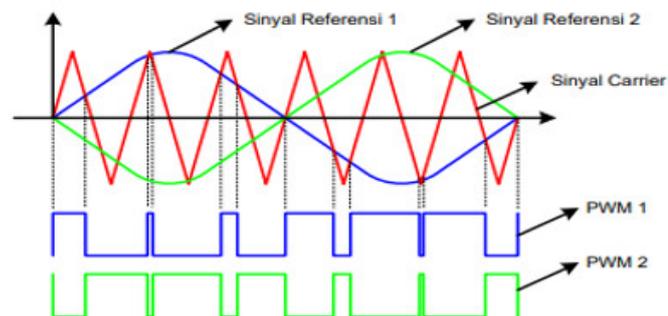
2.5 Pulse Width Modulation (PWM)

Modulasi merupakan proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carrier*. Sinyal informasi tersebut dapat ditumpangkan dengan cara mengubah amplitudo, frekuensi, maupun fasa dari sinyal *carrier*. Untuk meningkatkan kapasitas informasi yang dapat ditransmisikan dapat dilakukan perubahan dengan kombinasi dari beberapa parameter yaitu amplitudo, frekuensi dan fasa (Yuda Prasetya et al., 2013).



Pada modulasi pulsa, pembawa informasi berupa deretan pulsa-pulsa. Pembawa yang berupa pulsa-pulsa ini kemudian dimodulasikan oleh sinyal informasi, sehingga parameternya berubah sesuai dengan besarnya amplitudo sinyal pemodulasi (sinyal informasi) (Susilawati, 2009).

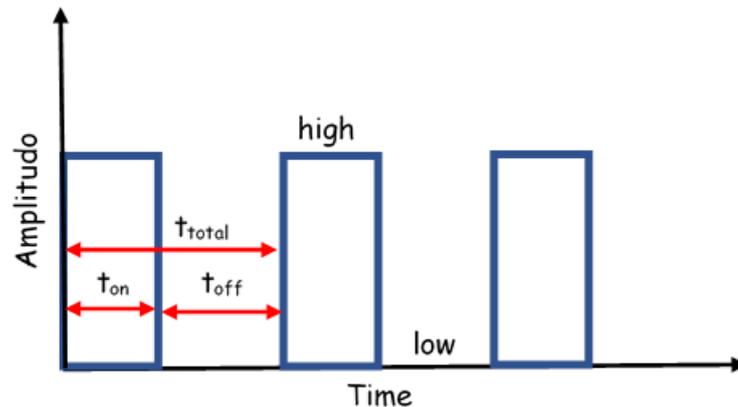
Pulse Width Modulation (PWM) atau modulasi lebar pulsa adalah satu teknik pembangkitan pulsa digital melalui proses perbandingan proses sinyal referensi dengan sinyal *carrier*. Pulsa yang dihasilkan melalui teknik modulasi lebar pulsa digunakan untuk memicu saklar daya IGBT sehingga mampu melakukan pencacahan secara terstruktur terhadap tegangan DC masukan pada *inverter* 3 fasa sehingga menghasilkan pulsa dengan metode seperti ditunjukkan gambar berikut ini : (Nugroho, 2018)



Gambar 11 Teknik modulasi lebar pulsa
(Nugroho, 2018)

PWM merupakan suatu proses yang membandingkan antara sinyal *carrier* dengan sinyal modulasi sehingga menghasilkan sinyal kotak dengan lebar pulsa yang berbeda yang dapat diatur dengan *duty cycle*. *Duty cycle* merupakan persentase periode sinyal *high* dengan periode sinyal *low*, persentase *duty cycle* akan berbanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan. Sinyal PWM memiliki lebar pulsa yang bervariasi sesuai dengan *duty cycle*. Berikut gambar penjelasan mengenai sinyal PWM.





Gambar 12 Sinyal PWM

t_{on} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi high atau berlogika 1. t_{off} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi low atau berlogika 0. t_{total} adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara t_{on} dengan t_{off} , biasa dikenal dengan periode satu gelombang (Akbar & Riyadi, 2019).

PWM adalah tipe modulasi lebar pulsa yang paling umum digunakan pada VFD. Daya keluaran VFD dikembangkan oleh pulsa tegangan yang on dan off pada frekuensi penyaklaran yang menghasilkan gelombang sinusoidal. VFD tidak hanya mengatur frekuensi keluaran tetapi juga tegangan keluaran. Berbeda dengan frekuensi keluaran VFD yang ditentukan oleh kontrol aliran dalam sistem mekanis yang terhubung, tegangan keluaran VFD tidak bergantung pada kontrol aliran dan berpotensi dioptimalkan untuk memaksimalkan efisiensi motor (Wang et al., 2019).

Indeks modulasi pada PWM biasanya merujuk pada perbandingan antara lebar pulsa dan periode sinyal pembawa. Indeks modulasi PWM lebih berkaitan dengan seberapa lama sinyal pembawa berada pada tingkat tinggi dalam suatu periode bukan dalam amplitudo atau frekuensi sinyal pembawa. Tegangan akan meningkat dengan meningkatkan indeks modulasi dan kecepatan juga meningkat ketika frekuensi meningkat (Gandhi et al., 2014).

Frekuensi *Carrier* (Pembawa) adalah frekuensi dari sinyal pembawa yang digunakan dalam PWM untuk menghasilkan sinyal keluaran yang diinginkan.



Frekuensi pembawa ini berfungsi menentukan seberapa cepat sinyal PWM dapat dan berapa banyak siklus pulsa yang terjadi dalam satu detik. Adapun dari bentuk gelombang termodulasi selalu lebih kecil dari puncak dari sinyal pembawa yang berbentuk tegangan segitiga. Sewaktu gelombang

termodulasi mempunyai nilai lebih besar dari nilai sesaat gelombang pembawa, sakelar bagian atas akan diaktifkan dan sakelar bagian bawah akan secara komplementer menjadi tidak aktif. Dengan cara yang sama, saat gelombang termodulasi mempunyai nilai lebih kecil dari nilai sesaat gelombang pembawa, sakelar bagian atas akan menjadi tidak aktif dan saklar bagian bawah juga akan secara komplementer diaktifkan (Prajitno S. & Pinandito, 2013).

2.6 Matlab Simulink

Matrix Laboratory (Matlab) merupakan sebuah program yang berfungsi untuk menganalisis dan melakukan komputasi numerik dan merupakan suatu Bahasa pemrograman matematika lanjutan yang terbentuk berdasarkan dasar pemikiran dengan menggunakan sifat dan bentuk matriks. Matlab saat ini berkembang menjadi *environment* pemrograman yang berisi fungsi-fungsi *built in* untuk melaksanakan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier dan kalkulasi secara matematis. *Interface* ini juga menyediakan *toolbox* yang berisi fungsi tambahan untuk aplikasi khusus. Matlab bersifat *extensible*, artinya bahwa seorang pengguna dapat memasukkan fungsi baru untuk ditambahkan pada *library* ketika fungsi *built in* yang tersedia tidak dapat melaksanakan tugas-tugas tertentu.



Gambar 13 Logo matlab

Matlab digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, optimasi, aproksimasi, matriks dan lain-lain. Dalam hal ini Matlab banyak digunakan untuk pengembangan dan algoritma, matematika dan komputasi, analisis numerik dan statistik, pengembangan aplikasi teknik, analisis data, eksplorasi dan visualisasi serta pemrograman pemodelan, simulasi dan pembuatan *prototype* (Isnaini & Dewy, 2021).



Matlab Simulink terdiri dari model sistem tenaga Simscape yang menyediakan kemampuan untuk komponen dan alat untuk analisis model yang pada gilirannya digunakan untuk menganalisis berbagai jenis sistem konversi listrik. Blok yang sudah dibangun,

yang ditempatkan pada tingkat sistem tenaga adalah solusi yang layak karena dimulai dengan kumpulan persamaan, penerapan semua persamaan sebagai satu model simulasi (Arpit et al., 2021).

Simulink merupakan perangkat lunak yang interaksinya dalam lingkungan *block diagram* untuk simulasi multi domain dan *model-based design*. Simulink dapat digunakan untuk *system level design*, simulasi, *Automatic code generation*, dan *continuous test and verification embedded systems*. Simulink menyajikan editor dalam bentuk grafik.

Simulink juga terintegrasi dengan Matlab sehingga memungkinkan untuk saling bertukar informasi maupun data antara simulink dan Matlab secara bersamaan, dengan kata lain mengkombinasikan antara *Textual Programming* dan *Graphical Programming* dalam melakukan simulasi dari suatu desain sistem. Ribuan algoritma yang tersedia di Matlab dapat dengan mudah dimasukkan dalam blok simulink (Ningrum, 2020).

Simulasi dapat dilakukan dengan berbagai alat bantu atau perangkat lunak, salah satu perangkat lunak yang lengkap dan mempunyai fasilitas berbagai pendukung perhitungan matematis, modelling, *stateflow* dan *toolbox* adalah Simulink. Simulink merupakan bagian tambahan dari software matlab. Simulink dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi dan analisa dari system dinamik dengan menggunakan antarmuka grafis (GUI). Simulink terdiri dari beberapa kumpulan *toolbox* yang dapat digunakan untuk analisa sistem linier dan non linier. Beberapa *library* yang sering digunakan dalam sistem kontrol antara lain *math*, *sinks* dan *sources* (Effendi, 2017).

2.7 Penelitian Terdahulu

Untuk mendukung penelitian ini, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi rujukan untuk penelitian ini. Adapun beberapa penelitian terdahulu tersebut adalah :

1. Analisis Hemat Energi Pada *Inverter* Sebagai Pengatur Kecepatan Motor induksi 3 Fasa oleh Bambang Prio Hartono dan Eko Nurcahyo (2017).



ada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hemat energi pengendalian tarian motor induksi 3 fasa menggunakan *inverter* kontrol tegangan dan

frekuensi. Dalam mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan Matlab. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada pengendalian kecepatan motor induksi penggerak mesin *extruder* menggunakan *inverter*, energi yang dibutuhkan lebih kecil, hemat energi sebesar 65,61 kWh dalam pengoperasian 6 jam/hari karena kebutuhan kecepatannya hanya 500-600 rpm.

2. Implementasi Rangkaian *Inverter* Terhadap Pengaruh Perubahan Frekuensi dan Kecepatan Berdasarkan Putaran Motor Induksi 3 Fasa oleh M. Zul Fikri (2018).

Pada penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan putaran motor induksi 3 fasa rotor sangkar menggunakan *inverter* dengan tegangan keluaran 400 Vac dengan range frekuensi 20 Hz-40 Hz dengan menggunakan metode *Control Proportional Integrate Derivatif*. Hasil dari penelitian yang diperoleh adalah putaran motor berbanding lurus dengan daya keluaran dan daya keluaran berbanding lurus dengan efisiensi pada motor.

3. Penggunaan *Inverter* 3G3MX2 Untuk Merubah Kecepatan Putar Motor Induksi 3 Fasa oleh Zulfikar, Noorly Evalina dan Arfis A. (2019).

Pada penelitian ini dilakukan pengaturan motor induksi dapat dilakukan dengan menggunakan *inverter* 3G3MX2 dengan merubah arus, tegangan daya dan frekuensi. Berdasarkan hasil penelitian ini bahwa ketika tegangan dinaikkan maka frekuensi akan semakin besar dan putaran akan semakin cepat. Apabila frekuensi semakin besar maka daya juga akan semakin besar dan putaran akan semakin cepat.

Penelitian ini membahas mengenai implementasi VFD pada putaran motor induksi 3 fasa rotor belitan dengan menganalisis tegangan, arus, daya, torsi, putaran dan efisiensi yang dihasilkan melalui simulasi matlab simulink. Range frekuensi yang diteliti yaitu 10 hingga 100 Hz, sehingga dapat diketahui pengaruh perubahan frekuensi pada sistem ketika kurang atau melebihi standar frekuensi yaitu 50 Hz.



ini juga membahas dan menampilkan tentang perubahan yang terjadi ap proses konversi tegangan AC menjadi tegangan DC dan kembali si menjadi tegangan AC.