

CURRICULUM VITAE



I. DATA PRIBADI

Nama : M. ZUL FIKRI
NPM : 1407220091
Tempat / Tgl. Lahir : Medan / 4 September 1996
Alamat : Jl. Garu 3 Komp. Taman Sempurna Indah B3 Harjosari 1
Jenis Kelamin : Pria
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
No. Hp : +6282276444319
Email : zulfikri335@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : Jhon Heri
Ibu : Hilda Astuti

II. PENDIDIKAN FORMAL

2002 –2004 : SD Swasta Al – Ulum Medan
2004 – 2008 : SD Negeri Ahmad Yani Tangerang
2008 – 2011 : SMP Swasta Al – Urwatul Wutsqo Indramayu
2011 – 2014 : MAS Al – Haitsam Bogor
2014 – 2018 : Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

III. PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Ir. Zulfikar., M.T.
Pembimbing 2 : Partaonan Harahap S.T., M.T.

IV. PENGUJI

PENGUJI 1 : Ir. Edy Warman., M.T.
PENGUJI 2 : Elvy Sahnur Nasution S.T., M. PD.

TUGAS AKHIR

**IMPLEMENTASI RANGKAIAN INVERTER TERHADAP PENGARUH
PERUBAHAN FREKUENSI DAN KECEPATAN BERDASARKAN
PUTARAN MOTOR INDUKSI 3 PHASA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Diajukan Oleh :

M. ZUL FIKRI
NPM : 1407220091



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**IMPLEMENTASI RANGKAIAN INVERTER TERHADAP
PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI DAN KECEPATAN
BERDASARKAN PUTARAN MOTOR INDUKSI
3 PHASA**

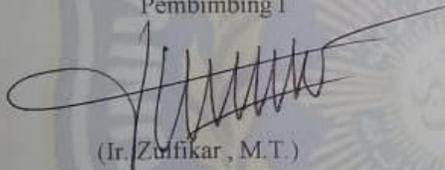
*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

M. ZUL FIKRI
NPM : 1407220091

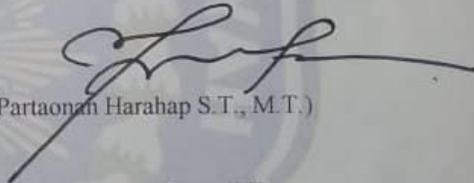
Telah diuji dan disahkan pada tanggal 15 Oktober 2018

Pembimbing I



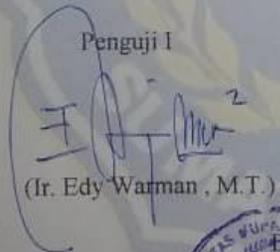
(Ir. Zulfikar, M.T.)

Pembimbing II



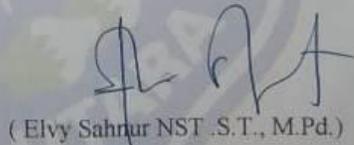
(Partaonah Harahap S.T., M.T.)

Penguji I



(Ir. Edy Warman, M.T.)

Penguji II



(Elvy Sahrur NST .S.T., M.Pd.)

Diketahui dan Disahkan
Ketua Program Studi Teknik Elektro



(Paisan Irsan Pasaribu S.T., M.T.)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN MUHAMMADIYAH
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
(UMSU)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : M. ZUL FIKRI
NPM : 1407220091
Tempat / Tgl Lahir : Medan / 04 September 1996
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir (skripsi) saya ini yang berjudul :

“IMPLEMENTASI RANGKAIAN INVERTER TERHADAP PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI DAN KECEPATAN BERDASARKAN PUTARAN MOTOR INDUKSI 3 PHASA”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan Integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 10 November 2018
Saya yang menyatakan

(M. ZULFIKRI)
1407220091

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan sebatas ilmu dan kemampuan yang penulis miliki, sebagai tahap akhir dalam menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Shalawat berangkaikan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Baginda kita Nabi besar Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, amin.

Dengan segenap perjuangan dan tindakan akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“IMPLEMENTASI RANGKAIAN INVERTER TERHADAP PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI DAN KECEPATAN BERDASARKAN MOTOR INDUKSI 3 PHASA”**.

Dalam penyusunan skripsi, penulis telah banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis dengan setulus hati berkeinginan untuk mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Teristimewa buat Ayahanda Jhon Heri, Ibunda Hilda Astuti, Kakanda Ulfha Junita Heriyanti, Tante Eva Desliana, Adinda Syahra Khairunnisa SRG, Adinda M. Z. Zidan. Fachri Adinda Revina Nurul Shafa SRG, adik- adik tercinta dan seluruh keluarga yang telah banyak memberikan doa, nasehat, dorongan baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

2. Bapak Munawwar Al- Fansyuri, ST., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Partaonan Harahap, S.T., M.T., sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Zulfikar, ST., M.T., sebagai Dosen Pembimbing I, yang selalu membimbing dan memberikan pengarahan kepada penulis dalam penelitian serta penulisan tugas akhir ini.
6. Bapak Partaonan Harahap, S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing II, yang selalu membimbing dan memberikan pengarahan kepada penulis dalam penelitian serta penulisan tugas akhir ini.
7. Bapak & Ibu dosen dan segenap civitas akademika Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh teman-teman seperjuangan Fakultas Teknik Elektro 2014 yang selalu memberikan semangat dan motivasi yang luar biasa.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini dimasa yang akan datang.

Akhirnya kepada Allah SWT penulis berserah diri semoga kita selalu dalam lindungan serta limpahan rahmat-Nya dengan kerendahan hati penulis berharap semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis khususnya.

Medan, 10 November 2018

Penulis

M. ZUL FIKRI

1407220091

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT KEASLIAN	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Relevan	6
2.2 Inverter (VFD)	11
2.2.1 Prinsip Kerja Inverter (VFD)	14
2.2.2 Struktur Inverter (VFD)	14
2.2.3 Inverter Satu Fasa	18
2.2.4 Inverter Tiga Fasa	21

2.2.5 Pengendali Tegangan Inverter (VFD)	23
2.2.6 Prinsip Perubahan Frekuensi Motor Induksi 3 Phasa	
Menggunakan Inverter (VFD)	24
2.2.7 Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)	26
2.3 Sistem Pengontrolan PID	27
2.4 Penyearah Gelombang AC (Dioda Rectifier)	30
2.5 Motor Induksi	33
2.5.1 Motor Induksi Tiga Phasa (Motor Induksi Rotor Sangkar)..	33
2.5.2 Prinsip Kerja Motor Induksi	36
2.5.3 Kontruksi Motor Induksi 3 Phasa	37
2.5.3.1 Stator	38
2.5.3.2 Rotor	40
2.5.4 Slip	43
2.5.5 Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 1 Phasa	44
2.5.5.1 Rangkaian Ekuivalent Motor Induksi	46
2.5.6 Hukum Dasar Motor Induksi	48
2.5.7 Pengaruh perubahan Tahanan Rotor	50
2.5.8 Medan Putar	51

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian	53
3.2 Alat Penelitian	53
3.3 Variabel Penelitian	53
3.4 Jalannya Penelitian	54
3.5 Diagram Alir Penelitian	55

3.6 Teknik Analisa Data	56
3.6.1 Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Motor Induksi Sebelum Menggunakan Inverter	56
3.6.2 Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Motor Induksi Sebelum Menggunakan Inverter	56
3.6.3 Analisis Effisiensi Motor Induksi 3 phasa	57

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perubahan Frekuensi dan Tegangan Terhadap Putaran Motor Induksi Tiga Phasa	58
4.1.1 Perubahan Frekuensi Terhadap Tegangan Motor	59
4.2 Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Motor Induksi Sebelum Menggunakan Inverter	61
4.3 Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Motor Induksi Sesudah Menggunakan Inverter	62
4.3.1 Grafik Perubahan Frekuensi Terhadap Putaran Motor....	64
4.4 Analisis Efisiensi Motor Induks	65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Pengendali Kecepatan Motor AC	13
Gambar 2.2 Sirkuit Inverter (VFD)	14
Gambar 2.3 Panel Utama Inverter (VFD)	15
Gambar 2.4 Bentuk Gelombang Tegangan Masukan dan Keluaran Converter	17
Gambar 2.5 Gambar 2.5 (a). Bentuk Gelombang AC 1 Hz Jumlah Frekuensi, (b). Jumlah Frekuensi	18
Gambar 2.6 Diagram Blok Inverter	19
Gambar 2.7 Proses Kerja Inverter Satu Fasa	20
Gambar 2.8 Gelombang Keluaran Inverter Satu Fasa	21
Gambar 2.9 Diagram Blok Inverter 3 Fasa	22
Gambar 2.10 Pembentukan Gelombang AC dengan Teknik PWM	24
Gambar 2.11 Blok Diagram Kontrol PID	27
Gambar 2.12 Blok Diagram Proses Pengontrolan Motor	39
Gambar 2.13 Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang	30
Gambar 2.14 Penyearah Gelombang Penuh Dengan Trafo CT	31
Gambar 2.15 Penyearah Gelombang Penuh Dengan Jembatan Wheatstone .	31
Gambar 2.16 Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa (Poly Phase)	32
Gambar 2.17 Gelombang AC 3 Fasa Keluaran Penyearah Gelombang Penuh	32
Gambar 2.18 Prinsip Kerja Motor Induksi	37
Gambar 2.19 Penampang Stator dan Rotor Motor Induksi Tiga Fasa	38

Gambar 2.20 Lempengan Inti	39
Gambar 2.21 Tumpukan Inti dengan Kertas Isolasi pada Beberapa Alurnya	39
Gambar 2.22 Tumpukan Inti dan Kumputan dalam Cangkang Stator	40
Gambar 2.23 Tampilan Close-Up Bagian Slip Ring Rotor Belitan.....	41
Gambar 2.24 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan	41
Gambar 2.25 Rangkaian Rotor Slip Ring	41
Gambar 2.26 Rotor Sangkar Tupai dan Bagian-bagiannya.....	42
Gambar 2.27 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai.....	43
Gambar 2.28 Rangkaian Ekuivalen Per-Fasa Motor Induksi Model Transformator	46
Gambar 2.29 Rangkaian Dengan Tahanan Variable	47
Gambar 2.30 Rangkaian Dengan Tahanan Variable $R_2 \left(\frac{1}{s} - 1 \right)$ Sebagai Bentuk Analog Listrik Dari Beban Mekanik	47
Gambar 2.31 Rangkaian Ekuivalen Per-Fasa Motor Induksi Dengan Mengabaikan Rugi Inti	48
Gambar 2.32 Aturan Tangan Kanan Fleming Untuk Menentukan Arah GGL Induksi	49
Gambar 2.33 Bentuk Gelombang Sinusoida dan Proses Terjadinya Medan Putar	52
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	55
Gambar 4.2 Grafik Frekuensi Terhadap Tegangan Motor	61
Gambar 4.3 Grafik Frekuensi Terhadap Putaran Motor	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembentukan Tegangan AC	13
Tabel 4.1 Frekuensi, Putaran Motor Terukur, dan Daya	59

ABSTRAK

Salah satu mesin listrik yang sering digunakan pada dunia industri adalah motor induksi, hal ini karena motor induksi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan jenis motor lain, diantaranya memiliki efisiensi yang relatif tinggi, konstruksi yang sederhana dan kuat, serta mudah dan murah dalam perawatannya. Salah satu kelemahan dari motor induksi adalah mengatur kecepatan putaran motor. Kecepatan putaran motor induksi dapat diubah dengan cara mengubah frekuensi dengan menggunakan inverter. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan putaran motor induksi 3 phasa menggunakan inverter dengan tegangan keluaran 400 Vac dengan range Frekuensi 20 Hz-40 Hz. Pada pengujian rangkaian menggunakan inverter dengan frekuensi 35 Hz maka tegangan yang diberi adalah sebesar 295 V dengan kecepatan putaran motor 1047 rpm. Inverter memiliki beberapa terminal masukan untuk sumber arus, saluran kontrol arah putaran, masukan analog untuk kontrol kecepatan dan sambungan Profibus untuk komunikasi data apabila dikehendaki sambungan ke komputer. Dengan adanya sambungan ke computer maka pengaturan arah dan kecepatan putaran motor dapat dilakukan dengan mudah melalui layar komputer dan banyak informasi yang dapat diketahui seperti tegangan, arus, torsi, frekuensi dan banyak lagi yang lainnya. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa untuk mengontrol kecepatan putaran motor Induksi 3 phase yang dilakukan adalah menggunakan metode Kontrol Proportional Integrate Derivatif

Kata kunci: Motor Induksi 3 Phasa, Inverter (VFD), Frekuensi, Tegangan, Putaran.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sekarang ini dalam dunia industri besar maupun kecil banyak menggunakan motor induksi 3 phasa untuk proses produksi karena kehandalan dan kemudahannya. Namun demikian terdapat kelemahan motor induksi 3 phasa yaitu sulit dalam hal pengaturan kecepatan jika dibandingkan dengan motor jenis lain seperti motor DC, dimana pengaturan kecepatannya cukup dilakukan dengan mengatur tegangan sumber DC nya saja. Padahal dalam proses produksi disebuah industri sekarang ini sangat dibutuhkan kecepatan putaran yang dapat diatur sesuai keperluan.

Oleh karena itu diperlukan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa dengan pengaturan frekuensi maupun pengaturan tegangan yaitu dengan menggunakan inverter. Inverter seringkali disebut sebagai *Variable Speed Drive (VSD)* atau *Variable Frequency Drive (VFD)* adalah sebuah peralatan yang berfungsi untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 phasa dengan cara merubah frekuensinya.

Dalam industri, inverter merupakan alat atau komponen yang cukup banyak digunakan karena fungsinya untuk mengubah listrik DC menjadi AC. Meskipun secara umum kita menggunakan tegangan AC untuk tegangan masukan/input dari inverter tersebut. Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan motor-motor listrik/servo motor atau bisa disebut *converter drive*.

Cuma kalau untuk servo lebih dikenal dengan istilah *servo drive*. Dengan menggunakan inverter, motor listrik menjadi *variable speed*. Kecepatannya bisa diubah-ubah atau disetting sesuai dengan kebutuhan. Inverter menggunakan frekuensi untuk mengatur speed motor. Seperti diketahui, pada kondisi ideal (tanpa slip) jadi dengan mengatur frekuensi pada motor, *speed* akan berubah.

Pengendalian kecepatan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya dengan kendali tegangan dan frekuensi. Pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang di inginkan atau sesuai dengan kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar inverter untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, perumusan masalah penelitian antara lain:

- a) Bagaimanakah pengaruh perubahan frekuensi terhadap putaran motor induksi menggunakan inverter?
- b) Bagaimanakah analisis efisiensi motor induksi terhadap penggunaan inverter ketika perubahan frekuensi pada motor induksi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

- a. Menganalisis pengaruh perubahan frekuensi terhadap putaran motor induksi menggunakan inverter.
- b. Menganalisis efisiensi motor induksi terhadap penggunaan inverter ketika perubahan frekuensi pada motor induksi.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari kesalah pahaman dan meluasnya masalah yang akan diteliti, maka penulis membatasi atau memfokuskan masalah yang berkaitan dengan penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

- a. Pada penelitian ini hanya membahas perubahan frekuensi motor terhadap kecepatan putaran motor induksi 3 phasa menggunakan inverter.
- b. Membahas prinsip kerja inverter.
- c. Tidak membahas konstruksi motor induksi 3 phasa secara rinci.
- d. Tidak membahas harmonisa dan gangguan yang terjadi pada motor induksi.
- e. Tidak membahas pengendalian kecepatan menggunakan PLC.
- f. Tidak membahas kontrol PID lebih mendalam.
- g. Tidak membahas IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) secara detail.

1.5 Metode Penelitian

Dalam penulisan penelitian ini penulis melakukan penelitian terhadap sistem yang diterapkan. Adapun langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Mengidentifikasi, menganalisa dan merumuskan masalah penelitian dalam hal ini masalah pengaruh perubahan frekuensi pada motor induksi 3 fasa menggunakan inverter.
- b. Mengumpulkan beberapa data yang valid untuk dijadikan bahan analisa yang bersumber dari Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- c. Studi literatur: Mengambil bahan dari buku-buku referensi, jurnal dan perpustakaan.
- d. Studi bimbingan: Diskusi dengan dosen pembimbing yang telah ditunjuk oleh Kepala Jurusan Teknik Elektro UMSU, mengenai masalah-masalah yang timbul selama penulisan skripsi ini berlangsung.
- e. Menyusun, mengolah dan menganalisa dari hasil data yang diperoleh.
- f. Akses Internet: Akses internet merupakan suatu langkah pencarian data yang akurat dan terbaru untuk mencari informasi yang berhubungan erat dengan penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima bab, sesuai dengan sistematika/ketentuan dalam pembuatan skripsi, adapun pembagian bab-bab tersebut adalah :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menerangkan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai perubahan frekuensi terhadap putaran motor induksi menggunakan inverter.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai langkah-langkah melakukan pengolahan data yang bersumber dari Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Disini penulis menguraikan hasil dan pembahasan berdasarkan judul serta dasar teori yang telah dibuat

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan, pengujian dan analisa berdasarkan data hasil pengujian sistem. Untuk meningkatkan hasil akhir yang lebih baik diberikan saran-saran terhadap hasil pembuatan skripsi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Relevan

Untuk mendukung analisis pada skripsi ini, berikut dikemukakan hasil penelitian yang terdahulu berhubungan dengan penganalisisan.

Haryanto (2014), penelitian tentang Pembuatan Modul Inverter Sebagai Kendali Kecepatan Putaran Motor Induksi. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi tersebut di antaranya dengan kendali tegangan dan frekuensi yang dikenal dengan kendali V/f konstan. Kendali V/f konstan adalah salah satu cara untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi dengan merubah tegangan dan frekuensi, tetapi menjaga konstan rasio keduanya. Hal yang paling umum dalam penerapan cara ini adalah dengan menggunakan perangkat yang dikenal. Hal yang paling umum dalam penerapan cara ini adalah dengan menggunakan perangkat yang dikenal sebagai inverter. Oleh karena itu pada penelitian ini penulis merancang inverter, khususnya inverter satu fasa dengan kendali V/f konstan, yang diaplikasikan untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi. Berdasarkan hasil pengujian nilai rata-rata konstanta rasio V/f yang didapat yaitu 2,34. Inverter yang telah dirancang mampu mengatur kecepatan putar motor induksi dengan baik, rentang pengaturan yang dapat dicapai sangat lebar yaitu dari 262 Rpm dengan frekuensi

10 Hz sampai dengan 1826 Rpm pada frekuensi 60 Hz pada keadaan tanpa beban dengan kenaikan dan penurunan setiap 1 Hz. Sedangkan perubahan motor dapat dengan halus, rata-rata 31,2 Rpm/Hz.

S. Nasution (2012), Jurnal Teknik tentang Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode *PID Fuzzy*. Mesin sentrifugal yang digunakan pada Tugas Akhir ini PLC adalah mesin yang baru dibuat. Mesin sentrifugal ini dibuat dengan mekanik yang lebih kokoh daripada mesin sentrifugal. Blok sistem kontrol pengaturan kecepatan mesin sentrifugal sebelumnya. Mesin yang dibuat berbahan stainless dan berbentuk tabung. Didalam mesin ini terdapat tabung stainless PC digunakan untuk memonitoring nilai setpoint (SP), berukuran lebih kecil dari tabung luar dan terdapat lubang-present value (PV), error, dan parameter kontrol. Kontroler lubang kecil[1].

Selain itu juga terdapat saluran untuk keluarnya *PID Fuzzy* terdapat pada program PLC yang secara langsung air dari proses sentrifugal. Berikut ini mesin sentrifugal yang mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa agar sesuai dengan telah dibuat dan digunakan pada Tugas Akhir yang input yang diinginkan. Sinyal kontrol dari *PID Fuzzy* berupa. Tegangan 0–5 VDC. Tegangan ini yang akan masuk ke inverter untuk diubah menjadi frekuensi (Hz). Tegangan DC yang dapat terbaca oleh inverter berkisar antara 0 sampai 10 V dengan range frekuensi yang dihasilkan sebesar 0 – 50 Hz. Hal ini tidak sesuai dengan spesifikasi inverter. Oleh karena itu diperlukan suatu rangkaian penguat tegangan dua kali agar tegangan DC yang dikeluarkan PLC menjadi 0 – 10 volt. Saat inverter mendapatkan tegangan DC yang sesuai maka tegangan tersebut akan diubah

menjadi frekuensi (Hz), sehingga dapat memutar motor induksi 3 fasa. Poros motor induksi dirancang dikopel dengan sensor rotary encoder yang dapat mendeteksi kecepatan (rpm) dengan cara mengkonversi. Prototipe dan desain mesin sentrifugal jumlah pulsa yang dihasilkan dalam setiap putaran motor.

H. Tjahjono (2012), Penelitian tentang Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa Pada PT. Berlian Unggas Sakti. Proses produksi adalah teknik atau metode untuk membuat atau merubah suatu barang atau jasa agar bertambah nilainya dengan menggunakan bantuan mesin induksi 3 phase sebagai penolong[2].

Penggunaan mesin induksi sebagai motor listrik memiliki banyak keuntungan diantaranya dikarenakan bentuknya yang sederhana dan konstruksinya yang cukup kuat, harga relatif murah dan dapat diandalkan, efisiensi tinggi dimana dalam keadaan normal tidak memerlukan sikat (seperti motor arus searah) sehingga rugi-rugi dapat dikurangi, perawatan minimum. Penggunaan motor induksi di dalam suatu sistem kelistrikan pembangkit listriksangat dibutuhkan dimana kegunaan dari motor induksi ini sendiri adalah sebagaipenggerak. Secara umum motor induksi dapat dioperasikan baik dengan menghubungkanmotor secara langsung ke rangkaian pencatu maupun dengan menggunakan teganganyang sudah dikurangi ke motor selama periode start. Kendala dari penggunaan motorinduksi adalah pada saat starting, dimana motor membutuhkan arus lebih tinggi sekitar 5sampai 7 kali dari arus nominal sehingga menyebabkan tegangan pada sistem turun yangdapat mengganggu peralatan lain.Penggunaan motor induksi di dalam suatu sistem kelistrikan pembangkit listriksangat dibutuhkan dimana kegunaan dari motor induksi ini sendiri adalah

sebagai penggerak. Secara umum motor induksi dapat dioperasikan baik dengan menghubungkan motor secara langsung ke rangkaian pencatu maupun dengan menggunakan tegangan yang sudah dikurangi ke motor selama periode start. Kendala dari penggunaan motor induksi adalah pada saat starting, dimana motor membutuhkan arus lebih tinggi sekitar 5 sampai 7 kali dari arus nominal sehingga menyebabkan tegangan pada sistem turun yang dapat mengganggu peralatan lain.

Henry A. Siregar (2008), Penelitian tentang Pengaruh Tegangan Tidak Setimbang Terhadap Torsi Dan Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa. Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling luas diaplikasikan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor ini memiliki konstruksi yang kuat, sederhana serta membutuhkan perawatan yang tidak banyak. Selain itu motor ini juga menyediakan efisiensi yang baik dan putaran yang konstan untuk tiap perubahan beban. Permasalahan tegangan tidak seimbang yang menyuplai motor induksi tiga fasa adalah hal yang mungkin saja bisa terjadi dalam keadaan praktis dari pengoperasian motor induksi tersebut. Berbagai macam gangguan asimetri pada sistem tenaga, distribusi beban – beban satu fasa tidak merata pada sistem tenaga yang sama, ataupun kegagalan operasi dari peralatan pengoreksi faktor daya, akan menimbulkan tegangan tidak setimbang pada saluran penyuplai terminal motor induksi tiga fasa tersebut. Adanya ketidakseimbangan tegangan ini akan mempengaruhi operasi dari motor induksi, yang mana dalam hal ini lebih ditekankan pada permasalahan torsi dan efisiensi motor induksi tersebut. Hal ini dikarenakan tegangan merupakan salah satu parameter terpenting dari torsi yang akan dibangkitkan motor induksi, dimana torsi akan sebanding dengan kuadrat

dari tegangan motor. Dengan demikian hal ini akan menentukan daya output dari motor dan selanjutnya akan menentukan efisiensi dari motor induksi.

Bornok J. P. S. Sihombing (2008), penelitian tentang Pembuatan Modul Perancang Sistem Pengaturan Arah Putaran Motor Induksi 3 Phasa Hubungan Bintang-Delta Berbasis PLC. Beberapa aplikasi pada industri dan kendali proses memerlukan relay sebagai elemen kendali yang sangat penting. Relay ini digunakan sebagai penghubung dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya dengan menggunakan pengawatan. Pada saat sebuah sistem mengalami perubahan diskripsi kerja, maka pengawatan relay harus diubah juga terlebih dahulu. Dengan perkembangan teknologi otomatis yang semakin canggih tentunya hal ini sangat tidak efisien dan memerlukan waktu yang cukup lama, kecenderungan digunakan PLC sebagai pengganti kerja dari relay-relay ini adalah setiap adanya perubahan diskripsi kerja sebuah sistem atau plant, maka yang diubah adalah “Programnya” tanpa mengubah penginstalasiannya.

Pada dunia otomatis saat ini, pengendalian logika terprogram (PLC) tidak hanya menggantikan pengendali konvensional yang ada sebelumnya, tetapi telah banyak mengambil alih fungsi pengendali tambahan lainnya. Secara umum, PLC terdiri dari I/O modul, Central Processing Unit dan Program Device. PLC ini bekerja berdasarkan sinyal analog (berupa besaran listrik) yang dikirim ke input modul melalui input devices, dan sinyal ini dikonversi terlebih dahulu menjadi sinyal digital selanjutnya dikirim ke CPU untuk diolah / diproses berdasarkan instruksi program yang telah dibuat dan selanjutnya dikirim ke output modul yang akan dikonversi kembali menjadi sinyal analog, sinyal inilah

yang akan mengaktifkan output kontrol ataupun output beban melalui kontak-kontak output yang terdapat pada PLC. Untuk membuat program pada PLC ini dapat dilakukan dengan menggunakan komputer atau console, program yang dibuat dapat berupa diagram tangga (ladder diagram) atau dapat juga berupa Mnemonic Code yang di dapat dengan menerjemahkan ladder diagram.

Berdasarkan peneiltian di atas, maka pada penelitian ini akan Menganalisis pengaruh perubahan frekuensi dalam sistem pengendali kecepatan motor terhadap efisiensi motor induksi 3 phasa.

2.2 Inverter (VFD)

Inverter diambil dari bahasa Inggris yang berarti pembalik, mungkin Anda sudah sering mendengar atau menyebut kata inverter, baik dalam tema bahasan elektronika atau kelistrikan.

Inverter/ *variable frequency drive* 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 untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur[3].

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (*converter AC-DC*) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkendali (*rectifier dioda*) namun juga ada yang menggunakan penyearah terkendali

(*thyristor rectifier*). Setelah tegangan sudah diubah menjadi DC maka diperlukan perbaikan kualitas tegangan DC dengan menggunakan tandon 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 PWM juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil dari pada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal, dimana kita tahu kalau harmonisa ini akan menimbulkan rugi-rugi pada motor yaitu cepat panas. Maka dari itu teknik PWM inilah yang biasanya dipakai dalam mengubah tegangan DC menjadi AC (Inverter).

Prinsip kerja inverter adalah mengubah input motor (listrik AC) menjadi DC dan kemudian dijadikan AC lagi dengan frekuensi yang dikehendaki sehingga motor dapat dikontrol sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Fungsi Inverter adalah untuk merubah kecepatan motor AC dengan cara merubah frekuensi outputnya:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(2.1)$$

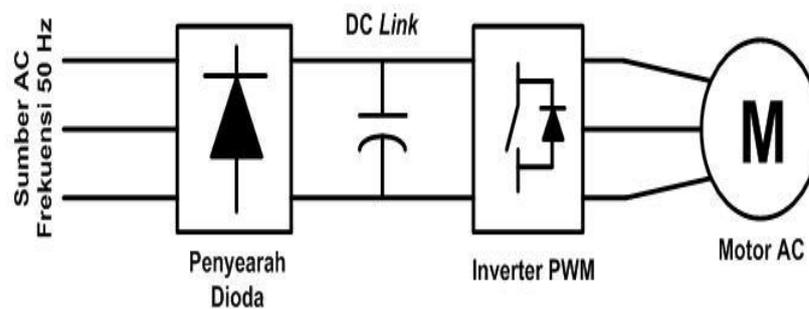
Dimana: n = Putaran per menit (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub

Inverter/*variable frekuensi drive* merupakan alat untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan cara mengubah frekuensi listrik sesuai dengan kecepatan motor yang diatur, Sebuah *Variabel Frequency Drive* (VFD) adalah

suatu sistem untuk mengendalikan kecepatan rotasi motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan mengendalikan frekuensi listrik yang diberikan kemotor. VFD juga dikenal sebagai *Adjustable Frekuensi Drive (AFD)*, *Variable Speed Drive (VSD)*, *AC Drive*, *Microdrives* atau *Inverter Drive*.



Gambar 2.1. Rangkaian Pengendali Kecepatan Motor AC

Pada dasarnya inverter merupakan sebuah alat yang membuat tegangan bolak-balik dari tegangan searah dengan cara pembentukan gelombang. Namun gelombang tegangan yang terbentuk dari inverter tidak berbentuk sinusoida melainkan berbentuk gelombang dengan persegi. Pembentukan tegangan AC dilakukan dengan menggunakan dua pasang saklar seperti contoh ditabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Pembentukan Tegangan AC

Item	Metode	Keterangan	Hasil
Saklar S1 -S4	Beri Tegangan DC	Secara Bergantian	Aktif
Saklar S1 -S4	Kondisi Hidup	Arus mengalir A ke B	Terbentuk Tegangan Positif
Saklar S2-S3	Kondisi Hidup	Arus mengalir B ke A	Terbentuk Tegangan Negatif

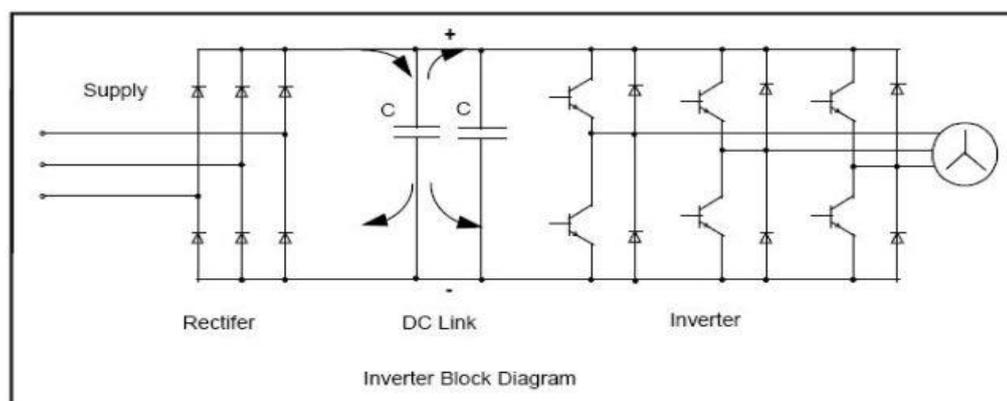
Saklar S1 -S4 dan Saklar S2-S3	Pada 1/2 periode pertama arus dari A ke B dan pada 1/2 periode kedua arus mengalir dari B ke A	Terbentuk Gelombang arus bolak-balik (Sinusoida)
Saklar S1 -S4 dan Saklar S2-S3	mengatur ON - OFF transistor selama 0,5 detik	Menghasilkan gelombang bolak balik dengan frekuensi 1 Hz

2.2.1 Prinsip Kerja Inverter (VFD)

Prinsip kerja Inverter yang sederhana adalah:

1. Tegangan yang masuk dari jala-jala 50 Hz dialirkan ke penyearah DC, dan ditampung ke *bank capacitor*. Jadi dari AC dijadikan DC.
2. Tegangan DC kemudian diumpankan ke *board inverter* untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai kebutuhan. Jadi dari DC ke AC yang komponen utamanya adalah semikonduktor aktif. Dengan menggunakan frekuensi carrier (bisa sampai 20 kHz), tegangan DC dicacah dan dimodulasi sehingga keluar tegangan dan frekuensi yang diinginkan.

Untuk lebih jelasnya kita lihat diagram blok *variable frekuensi drive* dibawah ini:



Gambar 2.2 Sirkuit Inverter (VFD)

2.2.2 Struktur Inverter (VFD)

Struktur inverter memperlihatkan bahwa inverter (VFD) dengan transistor yang menghasilkan daya arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi dari sumber komersial yaitu (50 Hz atau 60 Hz). Sirkuit konverter (yang mengubah sumber AC komersial menjadi sumber DC dan menghilangkan riak (ripple) pada output DC). Bagian kedua adalah sirkuit inverter yang mengubah arus searah menjadi arus AC tiga fasa dengan frekuensi beragam (dapat diatur) kedua sirkuit ini disebut sirkuit utama. Bagian ketiga adalah sebuah sirkuit kontrol berfungsi sebagai pengontrol sirkuit utama. Gabungan keseluruhan sirkuit ini disebut unit inverter.



Gambar 2.3 Panel Utama Inverter (VFD)

Inverter adalah piranti yang mengubah DC menjadi AC. Prinsip dasarnya akan dijelaskan dengan model arus bolak-balik satu fasa paling sederhana. Pada model ini dijelaskan metode perubahan arus searah menjadi arus bolak-balik dimana sebuah lampu menjadi beban. Empat saklar S1, S2, S3, S4 dihubungkan

kecatu daya DC dan dihidup-matikan berselang-seling untuk menghasilkan arus bolak-balik.

Umumnya S1-S4 dan S2-S3 dihidupkan untuk jangka waktu durasi yang sama. Umpamanya durasi dalam satu siklus satu detik, maka frekuensinya (f) adalah:

$$F = 1/ t_0 \text{ (Hz) (2.2)}$$

Arus bolak-balik tiga fasa. Dasar sirkuit inverter tiga fasa. Dengan menghidup-matikan S1 sampai S6, bentuk gelombang pulsa dengan interval sama melewati U-V, V-W, W-U, dan tegangan AC gelombang segi empat diterima motor, dengan mengubah periode hidup-mati saklar, besar frekuensi output sesuai keinginan dapat diterima motor. Dengan mengubah tegangan SC tegangan input kemotor juga dapat diubah-ubah, Prinsip kerja yang sederhana :

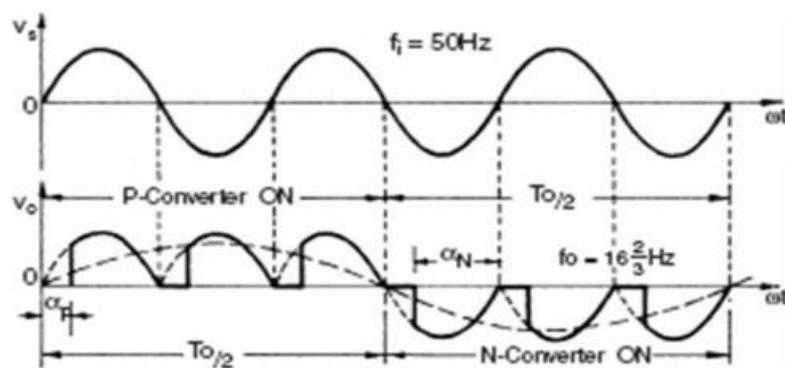
Struktur Sirkuit Inverter, Enam transistor menggantikan fungsi enam saklar pada sirkuit, yang dihubungkan ke motor tiga fasa. Transistor dihidup-matikan berselang-seling untuk menjalankan motor dengan mengganti urutan mati hidupnya transistor dan arah perputaran motor juga dapat berbalik. Fungsi transistor, Sebuah transistor terdiri dari tiga buah terminal kolektor (C), sebuah Emitor (E), Basis (B), dan Gerbang (G), untuk IGBT. Bila arus mengalir melewati basis, C-E tersambung (saklar hidup).

Transistor dapat melakukan fungsi saklar (hidup mati) seperti saklar S dengan cepat transistor basis tertutup adalah istilah fungsi perlindungan inverter, dimana sinyal basis (sinyal pintu untuk IGBT) dimatikan, pada inverter keenam

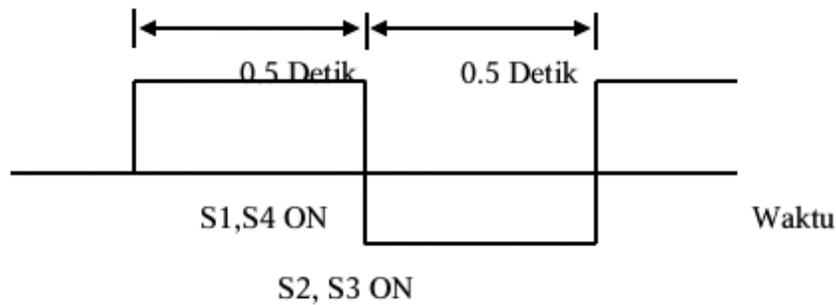
transistor dimatikan bersamaan untuk memisahkan motor dan inverter sehingga motor meluncur berhenti.

Berbagai metode untuk mengubah tegangan DC ke AC. Seperti dijelaskan dalam karakteristik motor yang dijalankan dengan inverter, tegangan harus disesuaikan dengan pola V/F untuk menjalankan sebuah motor standar dengan inverter. Karna sirkuit inverter bertransistor merupakan inverter sumber tegangan bagi motor. Terdapat berbagai jenis inverter seperti terlihat dibawah menurut caranya mengubah tegangan.

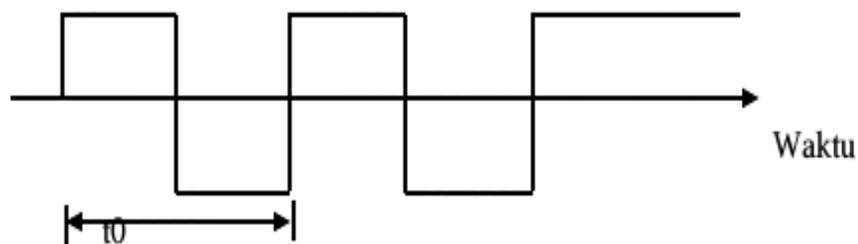
Sirkuit Konverter, Sirkuit konverter berfungsi untuk mengubah sumber tegangan AC ke tegangan DC. Sirkuit Konverter terdiri atas: Konverter, kapasitor penghalus dan sirkuit peredam arus masuk. Sistem kontrol inverter dan fungsi auto tuning. Kontrol V/F, Kontrol vektor fluksi magnetis serbaguna atau (*general-purpose magnetic flux vector control*), kontrol vektor fluksi magnetis tinggi (*advance magnetic flux vector control*) dan kontrol vektor (*closed loop*).



Gambar 2.4 Bentuk Gelombang Tegangan Masukan dan Keluaran Converter



Gambar 2.5(a) Bentuk Gelombang AC 1 Hz Jumlah Frekuensi



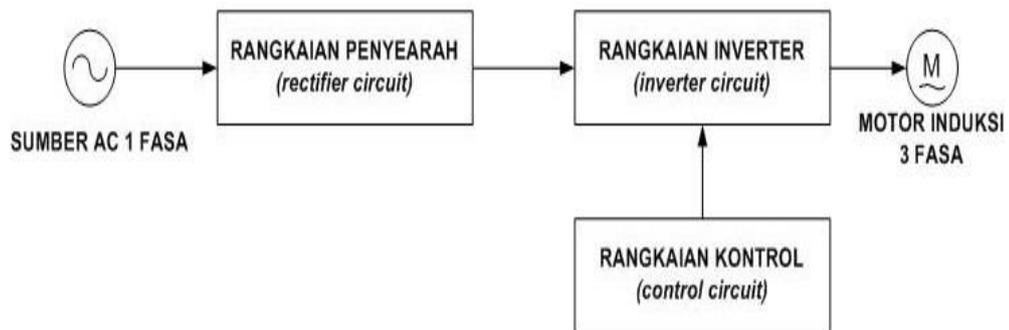
Gambar 2.5(b) Jumlah Frekuensi

Auto tuning berfungsi agar inverter memberi motor output sesuai kondisi konstanta rangkaian motor yang ada, inverter ada yg menggunakan satu fasa dan juga tiga fasa.

2.2.3 Inverter Satu 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 sinusoida.

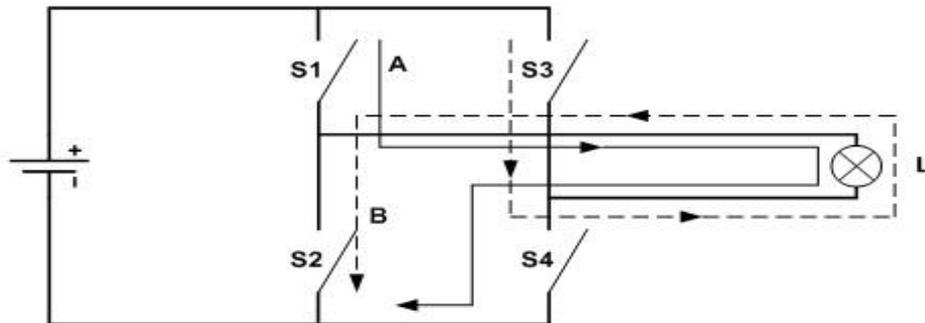
Pengaturan besar tegangan dapat dilakukan dengan 2 cara. Pertama dengan cara mengatur tegangan input DC dari luar tetapi lebar waktu penyalaan tetap. Kedua, mengatur lebar waktu penyalaan dengan tegangan input DC tetap. Pada cara yang kedua besar tegangan AC efektif yang dihasilkan merupakan fungsi dari pengaturan lebar pulsa penyalaan. Cara inilah yang disebut dengan *Pulse Width Modulation* (PWM). Struktur inverter umumnya mempunyai bentuk seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram Blok Inverter

Inverter terdiri dari sebuah rangkaian utama yang terbentuk 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.

Bentuk rangkaian dari inverter satu fasa dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



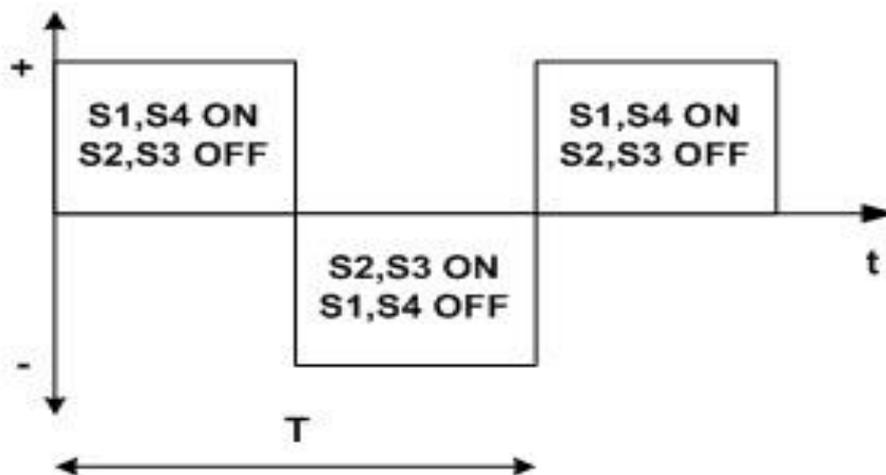
Gambar 2.7 Proses Kerja Inverter Satu Fasa

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 satu fasa dapat digambarkan melalui gambar diatas. Pada mulanya sakelar S1 dan S4 ditutup secara bersamaan, maka akan timbul tegangan pada beban, 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 maka pada titik A dan B akan muncul tegangan AC. Tegangan keluarannya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.8 Gelombang Keluaran Inverter Satu Fasa

2.2.4 Inverter Tiga Fasa

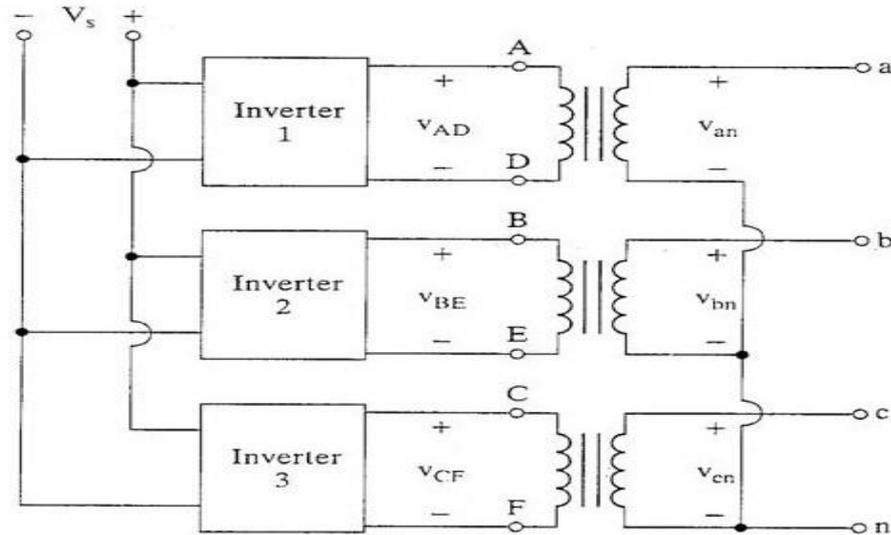
Inverter 3 phase merupakan inverter dengan tegangan keluaran berupa tegangan bolak balik (ac) 3 phase per segi[3].

Sebuah rangkaian dasar inverter 3 fasa tunggal sederhana terdiri dari 3 buah inveter 1 phase dengan menggunakan mosfet daya (*power mosfet*) sebagai sakelar diperlihatkan pada gambar dibawah.

Pada dasarnya prinsip kerja inverter tiga fasa sama dengan inverter satu 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 konduksi 120° dan mode konduksi 180° .

Diagram blok dari inverter 3 phase dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.9 Diagram Blok Inverter 3 Phase

Inverter memiliki dua 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 tegangan juga memiliki fungsi lain yaitu transistor-transistor juga mempunyai tugas utama untuk mengatur frekuensi keluaran inverter yang beragam-ragam.

Hubungan antara tegangan inverter (V_{RO} , V_{SO} , V_{TO}) dan tegangan output (V_{RS} , V_{ST} , V_{TR}) dapat diturunkan sebagai berikut :

$$VRS = VRO - VSO$$

$$VST = VSO - VTO$$

$$VTR = VTO - VRO$$

Tegangan fasa (VRN, VSN, VTN) diberikan pula tegangan netral pada kumparan stator motor akan imbul tegangan *relative* terhadap titik nol inverter yaitu sebesar :

$$VNO = \frac{VRO + VSO + VTO}{3} \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk tegangan perfasa inverter dapat diturunkan menjadi persamaan persamaan berikut :

$$VRN = 1/3 VRO - 1/3 VWO - 1/3 VTO$$

$$VSN = 2/3 VSO - 1/3 VRO - 1/3 VTO$$

$$VTN = 3/3 VTO - 1/3 VSO - 1/3 VRO$$

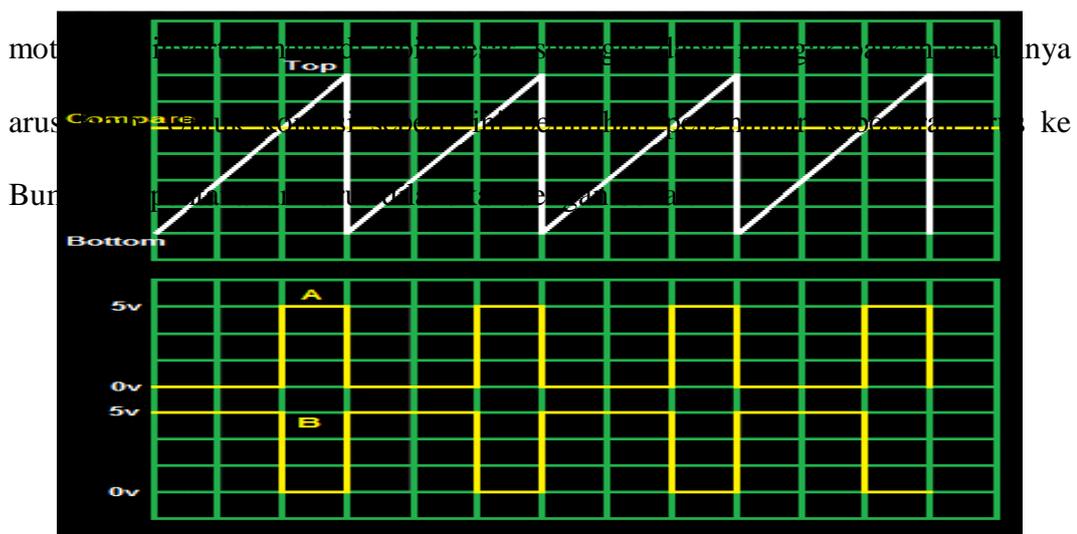
2.2.5 Pengendalian Tegangan Inverter (VFD)

Dalam aplikasi yang sering digunakan di dunia industri sering digunakan untuk mengendalikan tegangan keluaran inverter. Terdapat beberapa teknik untuk mengendalikan tegangan keluaran inverter. Pada umumnya teknik yang sering dipakai adalah sistem PWM (*Pulse Width Modulation*), sistem kontrol yang berbeda-beda ini menghasilkan karakteristik motor yang berbeda pula seperti (getaran, suara, riak, arus motor, respon torsi).

Pada PWM beberapa pulsa hidup mati dihasilkan dalam satu siklus dan lamanya juga beragam untuk mengubah-ubah tegangan output. Jumlah pulsa hidup mati yang dihasilkan dalam satu detik disebut frekuensi pembawa.

Pada sistem PWM ini getaran motor dan kebisingan motor dari komponen frekuensi sebanding dengan frekuensi pembawa yang dihasilkan, frekuensi pembawa dari sebuah inverter bersuara akustik lebih rendah, jadi pada inverter dengan nilai frekuensi pembawa yang besar dapat menghaluskan suara bising dari motor listrik.

Akan tetapi hal tersebut dapat membuat arus bocor yang terjadi antara



Gambar 2.10 Pembentukan Gelombang AC dengan Teknik PWM

2.2.6 Prinsip Perubahan Frekuensi Motor Induksi 3 phasa Menggunakan Inverter (VFD)

Perubahan frekuensi motor induksi 3 fasa bisa dilakukan dengan berbagai macam metode, salah satunya ialah dengan menggunakan Inverter. Awalnya rangkaian Inverter bekerja dengan menggunakan Vin 380/400 VAC, Dengan frekuensi 50 Hz. Vin AC diubah menjadi DC melalui *dioda bridge*, tegangan yang telah disearahkan kemudian menyuplai kapasitor (untuk menyimpan muatan listrik) yang berguna untuk memperbaiki bentuk gelombang ripple yang dihasilkan oleh dioda. Dan tegangan yang sudah diperbaiki ripplanya kemudian dilanjutkan ke resistor untuk membagi tegangan yang dihasilkan menjadi 24 VDC, dan tegangan ini digunakan untuk menyuplai osilator sementara.

Fungsi osilator sebagai pembagi sinyal atau yang sering disebut *Pulse Width Modulation* (PWM), setelah frekuensi terkendali dibangkitkan lalu diumpankan sinyalnya ke gate dari mosfet. Rangkaian VFD ini digunakan untuk merubah tegangan 24 VDC keluaran dari boost konverter menjadi tegangan AC 380/400 Volt dengan frekuensi yang bisa diatur-aturl (variabel) untuk mengatur putaran motor induksi tiga fasa, komponen semikonduktor yang digunakan adalah IGBT.

Dalam hal ini yang dimaksud adalah pengendali motor AC bisa dikendalikan menggunakan Inverter/VFD. Untuk melakukan pengaturan frekuensi mari kita tinjau pada tabel yang akan menjelaskan parameter-parameter untuk mengatur putaran motor induksi tiga fasa.

2.2.7 Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

IGBT adalah piranti semikonduktor yang setara dengan gabungan sebuah transistor bipolar (BJT) dan sebuah transistor efek medan (MOSFET). Jenis komponen baru yang berfungsi sebagai komponen saklar untuk aplikasi daya ini muncul sejak tahun 1980-an[4].

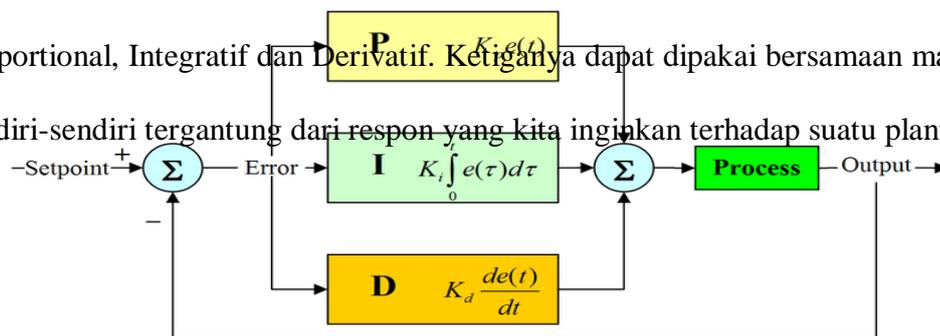
IGBT merupakan *voltage control power transistor*. IGBT secara umum memiliki kecepatan yang lebih tinggi dari BJT walaupun tidak secepat transistor. Akan tetapi IGBT menyediakan karakteristik drive dan keluaran yang lebih superior dibandingkan dengan BJT. IGBT lebih cocok digunakan untuk aplikasi pada tegangan tinggi, arus yang besar dan frekuensi diatas 20 kHz.

Sesuai dengan namanya komponen baru ini merupakan komponen yang menggabungkan struktur dan sifat-sifat dari kedua jenis transistor tersebut diatasBJT dan MOSFET. Dengan kata lain IGBT mempunyai sifat kerja yang menggabungkan keunggulan dari sifat-sifat kedua jenis transistor tersebut.

Terminal gate dari IGBT sebagai terminal kendali juga mempunyai struktur bahan penyekat (insulator) sebagaimana pada MOSFET.

2.3 Sistem Pengontrolan PID

Proportional Integral Derivative controller merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant [5].



Gambar 2.11 Blok Diagram Kontrol PID

a. Kontrol Proporsional

Kontrol P jika $G(s) = k_p$, dengan k adalah konstanta. Jika $u = G(s) \cdot e$ maka $u = K_p \cdot e$ dengan K_p adalah Konstanta Proporsional. K_p berlaku sebagai Gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *setting time*.

b. Kontrol Integratif

Jika $G(s)$ adalah kontrol I maka u dapat dinyatakan sebagai dengan K_i adalah konstanta Integral, dan dari persamaan di atas, $G(s)$ dapat dinyatakan sebagai $\frac{K_i}{s}$. Jika $e(T)$ mendekati konstan (bukan nol) maka $u(t)$ akan menjadi sangat besar sehingga diharapkan dapat memperbaiki error. Jika $e(T)$ mendekati nol maka efek kontrol I ini semakin kecil. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon *steady-state*, namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde system.

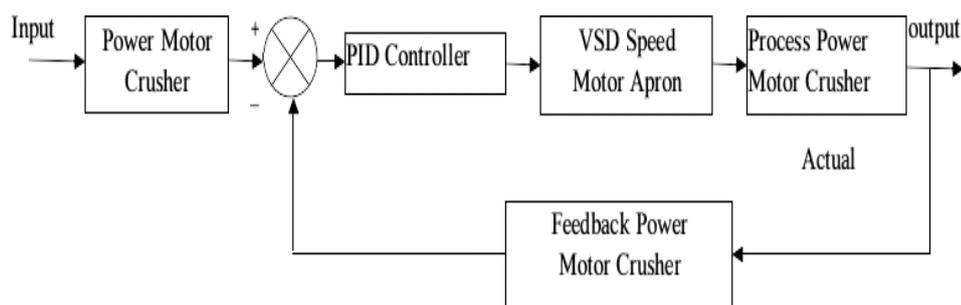
c. Kontrol Derivatif

Sinyal kontrol u yang dihasilkan oleh kontrol D dapat dinyatakan sebagai $u = -K_d \frac{e}{dt}$. Dari persamaan di atas, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini dalam konteks "kecepatan" atau rate dari error. Dengan sifat ini ia dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi error yang akan terjadi. Kontrol Derivative hanya berubah saat ada perubahan error sehingga saat error statis kontrol ini tidak akan bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan *kontroler Derivative* tidak dapat dipakai sendiri.

Untuk mengetahui efisiensi motor terhadap penggunaan inverter (VSD) maka akan dijelaskan dengan rumus yang sederhana seperti di bawah ini:

$$\eta_{motor} = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Penggunaan inverter (VFD) dapat mengatur kecepatan putaran motor secara lebih baik. Penggunaan inverter juga mengurangi konsumsi daya. Pengaturan putaran motor pada inverter didasarkan pada prinsip bahwa perubahan kecepatan motor sebanding dengan perubahan frekuensi input. Dengan pengaturan frekuensi, maka akan menghasilkan kecepatan putaran motor sesuai dengan yang diinginkan sekaligus penggunaan energy listrik.



Gambar 2.12 Blok Diagram Proses Pengontrolan Motor

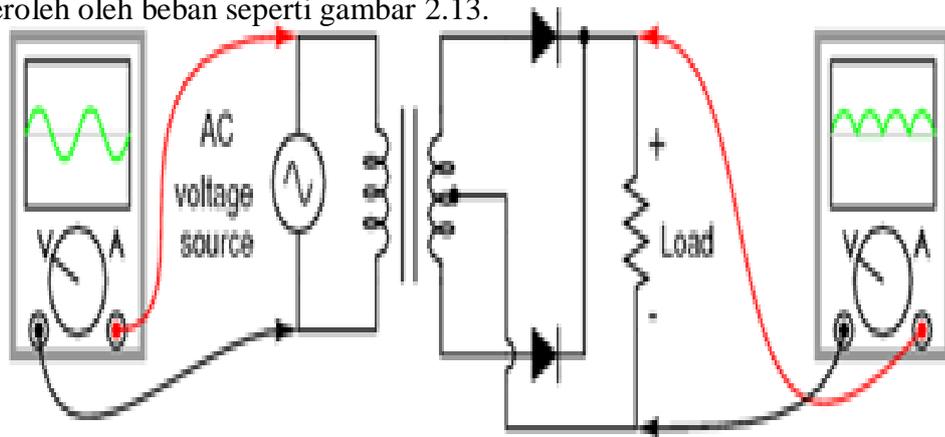
Dari Diagram Proses di atas dapat dilihat bahwa pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan metode kontrol PID. Berubah – ubahnya frekuensi tergantung pada beban kerja maksimal Mesin Crusher, jika Mesin Crusher tidak bekerja maksimal maka secara otomatis Motor Apron mempercepat kerja Apron dengan menaikkan frekuensi agar Apron dipercepat untuk memenuhi permintaan Mesin Crusher.

Pengendaliannya bisa menggunakan hubungan serial atau perintah digital dan analog. PLC yang digunakan adalah PLC Modicon Quantum 140 CPU 651

60S produk Schneider dan inverternya adalah Micromaster 440 Produk Siemens. I/O modul yang dibutuhkan untuk aplikasi ini adalah digital output, analog output, dan analog input juga output.

2.4 Penyearah Gelombang AC (*Dioda Rectifier*)

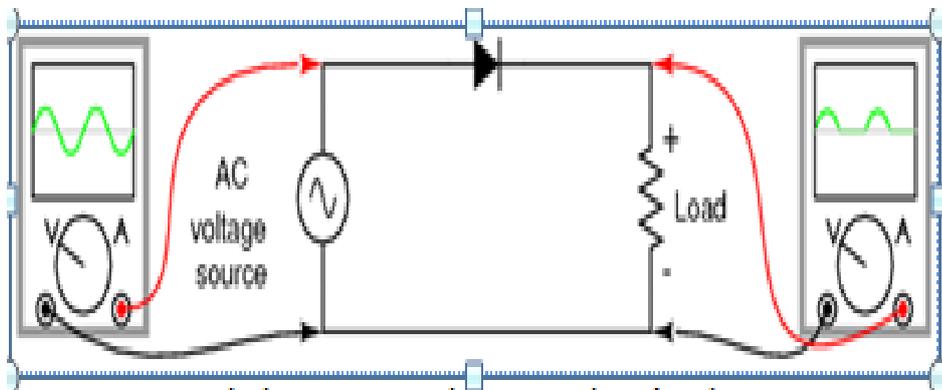
Penyearah / rectifier adalah pengubah sebuah tegangan arus listrik bolak-balik (AC) menjadi arus listrik searah (DC). Dalam mengubah tegangan AC menjadi DC ini diperlukan suatu komponen dimana komponen tersebut hanya membiarkan arus listrik mengalir dari satu arah, dan biasanya terdapat dari rangkaian dioda semikonduktor. Jenis penyearah yang paling sederhana adalah penyearaha setengah gelombang, hal ini berarti hanya setengah gelombang yang diperoleh oleh beban seperti gambar 2.13.



Gambar 2.13 Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang

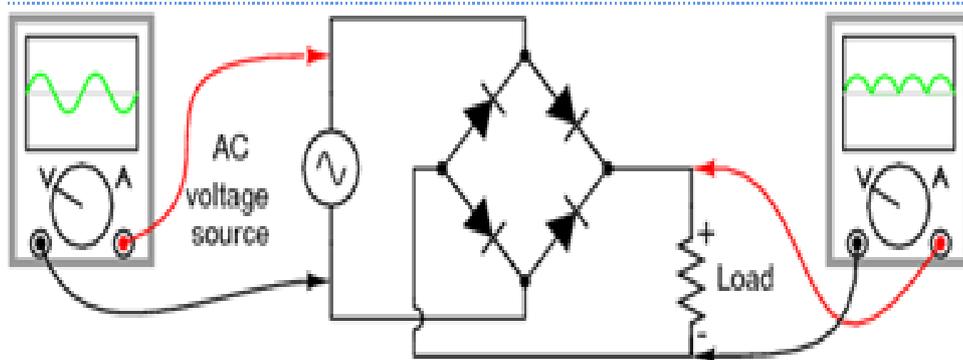
Dan jika kita ingin menyearahkan listrik AC untuk mendapatkan penggunaan penuh kedua setengah siklus dari gelombang sinus. Maka konfigurasi penyearah yang berbeda harus digunakan. Dan sirkuit seperti ini disebut penyearah gelombang penuh. Dan dalam penyearah gelombang penuh ini

digunakan transformator CT (*Center Tapped*) dan 2 buah dioda. seperti pada gambar di bawah ini.



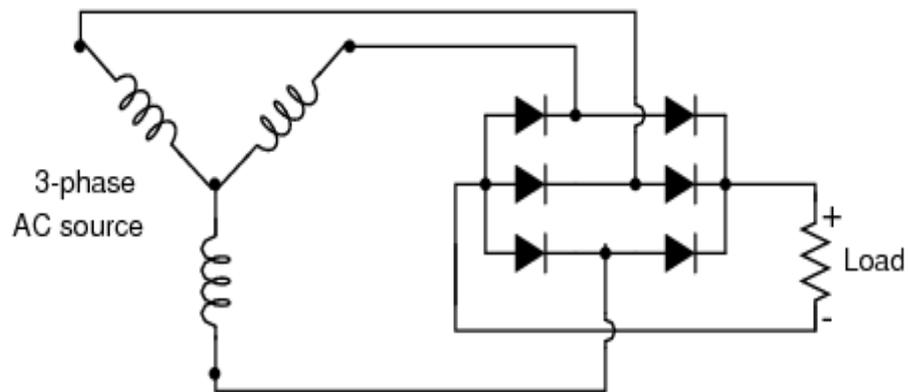
Gambar 2.14 Penyearah Gelombang Penuh Dengan Trafo CT

Desain yang lain dari penyearah gelombang penuh yang lebih populer atau lebih sering digunakan adalah dengan sistem jembatan gelombang penuh. Dimana pada desain penyearah sistem jembatan ini dibangun dengan 4 buah dioda. Seperti gambar dibawah ini.



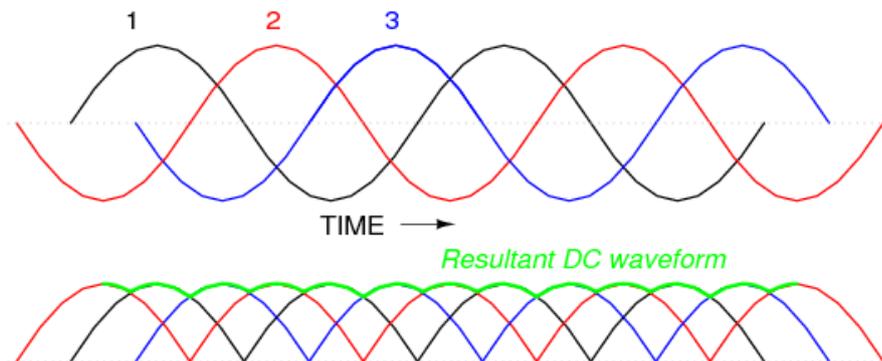
Gambar 2.15 Penyearah Gelombang Penuh Dengan Jembatan Wheatstone

Salah satu keuntungan dalam mengingat tata letak penyearah yang seperti diatas ini adalah hal tersebut bisa dikembangkan dengan lebih mudah ke dalam versi *polyphase* (fasa yang lebih dari satu), seperti versi rangkaian penyearah gelombang penuh 3 fasa berikut ini.



Gambar 2.16 Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa (Poly Phase)

Dalam penyearah gelombang penuh versi *polyphase* ini, pulsa fasa bergeser saling tumpang tindih, sehingga menghasilkan output tegangan DC yang jauh lebih “halus” bila dibandingkan dengan penyearah gelombang penuh versi satu fasa. Coba perhatikan gambar dibawah ini yang menunjukkan penyearah gelombang penuh dari AC 3 fasa.



Gambar 2.17 Gelombang AC 3 Fasa Keluaran Penyearah Gelombang Penuh

Dalam setiap kasus penyearah, baik itu penyearah satu fasa (*single phase*) ataupun lebih (*polyphase*), jumlah tegangan AC yang bercampur dengan tegangan DC output penyearah disebut sebagai riak tegangan. Tegangan riak ini tidak diinginkan karena dalam kebanyakan kasus tujuan dari menyearahkan tegangan AC adalah untuk mendapatkan tegangan DC yang “murni”. Pada tingkat daya

yang tidak terlalu besar, tegangan riak ini dapat dikurangi dengan penyearangan atau filter. Dan filter yang digunakan pada umumnya adalah filter pasif LC.

2.5 Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya emf induksi pada rotor. Emf induksi ini timbul karena adanya perbedaan kecepatan putaran rotor[6].

Keuntungan penggunaan motor induksi sangat banyak antara lain konstruksinya yang kuat (khususnya jenis rotor sangkar) harganya murah, tidak memerlukan perawatan yang banyak dan efisiensinya yang tinggi.

Disamping itu motor ini juga memiliki kekurangan antara lain, kecepatan akan turun sejalan dengan kenaikan beban.

2.5.1 Motor Induksi Tiga Fasa (Motor Induksi Rotor Sangkar)

Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik arus bolak-balik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Dinamakan motor induksi karena pada kenyataannya arus rotor motor ini bukan diperoleh dari suatu sumber listrik, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar. Dalam kenyataannya, motor induksi dapat diperlakukan sebagai sebuah transformator, yaitu dengan kumparan stator sebagai kumparan primer yang diam, sedangkan kumparan rotor sebagai kumparan sekunder yang berputar.

Motor induksi tiga fasa berputar pada kecepatan yang pada dasarnya adalah konstan, mulai dari tidak berbeban sampai mencapai keadaan beban penuh. Kecepatan putaran motor ini dipengaruhi oleh frekuensi, dengan demikian pengaturan kecepatan tidak dapat dengan mudah dilakukan terhadap motor ini. Walaupun demikian, motor induksi tiga fasa memiliki beberapa keuntungan, yaitu sederhana, konstruksinya kokoh, harganya relatif murah, mudah dalam melakukan perawatan, dan dapat diproduksi dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan industri.

Motor Induksi Dinamakan juga motor serempak dan banyak dipergunakan kalangan industri sebagai penggerak atau penghasil tenaga mekanis. Kontruksi motor induksi terdiri dari stator adalah bagian motor yang diam dan rotor bagian motor yang berputar. Celah udara adalah ruangan antara stator dan rotor. Kontruksi stator terdiri dari rumah stator dari besi tuang, inti stator dari besi lunak atau baja silikon.

Belitan stator dari bahan tembaga dirangkai untuk motor induksi tiga fasa tetapi juga dapat dirangkai untuk motor induksi satu fasa dan motor jenis lain. Kontruksi rotor terdiri dari inti rotor bahannya sama dengan inti stator yaitu baja lunak atau baja silikon. Belitan rotor bahannya dari tembaga, ada dua macam jenis rotor yaitu motor induksi dengan rotor sangkar (rotor kurung), dan motor induksi dengan rotor belitan.

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa berdasarkan induksi elektro magnetis, bila belitan atau kumparan stator diberi sumber tegangan AC tiga fasa maka arus akan mengalir pada kumparan tersebut, menimbulkan medan putar (saling

berubahnya kutub magnet) seperti halnya lampu hias, bingkai reklame yang nyalanya bergantian terlihat seperti berputar. Garis-garis gaya fluks dari stator tersebut yang berputar akan memotong penghantar-pengantar rotor sehingga pada penghantar tersebut timbul electro motoris force (EMF) atau gaya gerak listrik (GGL) dan disebut juga dengan tegangan induksi. Motor asinkron (motor induksi) banyak digunakan pada industri sebagai penggerak.

Keuntungan motor asinkron :

- Konstruksinya sederhana tetapi kuat (terutama rotor sangkar)
- Effisiensinya tinggi
- Cara kerjanya mudah
- Ongkos pemeliharaannya murah

Bila motor asinkron bekerja pada sistem 3 fasa, besar arus dan juga fluksi pada kutub di masing-masing fasa selalu berubah sesuai dengan fungsi waktu. Fluksi-fluksi pada masing-masing kutub selalu menghasilkan fluksi total (resultant), yang bergerak mengelilingi stator dengan arah radial. Fluksi yang berputar tersebut disebut medan putar, kecepatan putarnya disebut putaran sinkron (n) seperti pada (rumus 2.1).

Karena adanya pergerakan relatif antara fluksi dan medan putar terhadap rotor, maka akan timbul GGL pada konduktor rotor yang merupakan rangkaian tertutup dan arus akan mengalir melalui konduktor-konduktor tersebut. Arah arus sedemikian rupa sehingga fluksi timbul menentang penyebabnya, yaitu pergerakan relatif medan putar terhadap rotor (hukum lantz). Akibatnya rotor

berputar mengikuti arah medan putar. Bila kopel beban naik, Putaran (N) akan turun.

$$\text{Slip (s)} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

2.5.2 Prinsip Kerja Motor Induksi

Adapun beberapa prinsip kerja motor induksi yaitu :

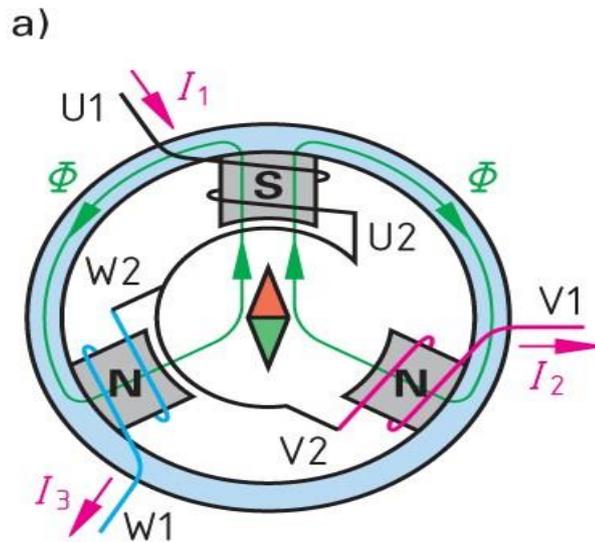
1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan $n_s = 120 f / p$.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (GGL) sebesar:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 \cdot N_2 \cdot \phi_m \text{ (untuk satu } \phi \text{)}.$$

E_{2s} adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar.
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka GGL (E) akan menghasilkan arus (I)
5. Adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Seperti telah dijelaskan pada point 3 tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).
8. Perbedaan kecepatan antara n_s dan n_r disebut slip (s) dinyatakan dengan :

$$S = (n_s - n_r) / n_s \cdot 100 \%$$

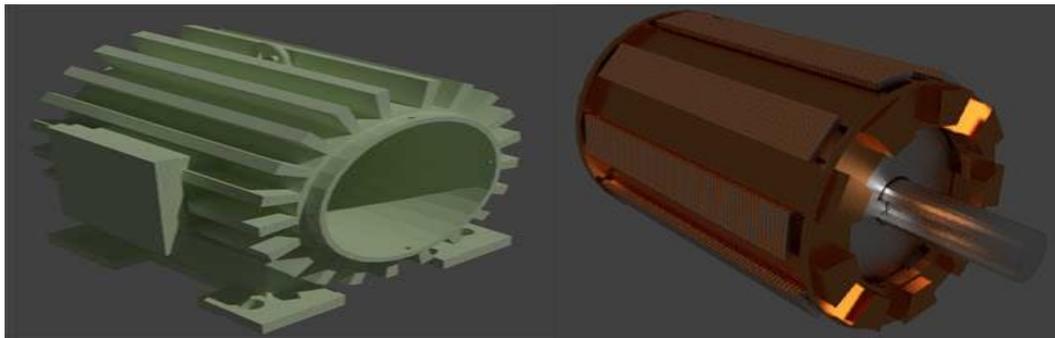
9. Bila $n_s = n_r$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan jangkar rotor dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan timbul apabila $n_r < n_s$.
10. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.



Gambar 2.18 Prinsip Kerja Motor Induksi

2.5.3 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Sebuah motor induksi tiga fasa memiliki konstruksi yang hampir sama dengan motor listrik jenis lainnya. Motor ini memiliki dua bagian utama, yaitu stator yang merupakan bagian yang diam, dan rotor sebagai bagian yang berputar sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.19 Antara bagian stator dan rotor dipisahkan oleh celah udara yang sempit, dengan jarak berkisar dari 0,4 mm sampai 4 mm.

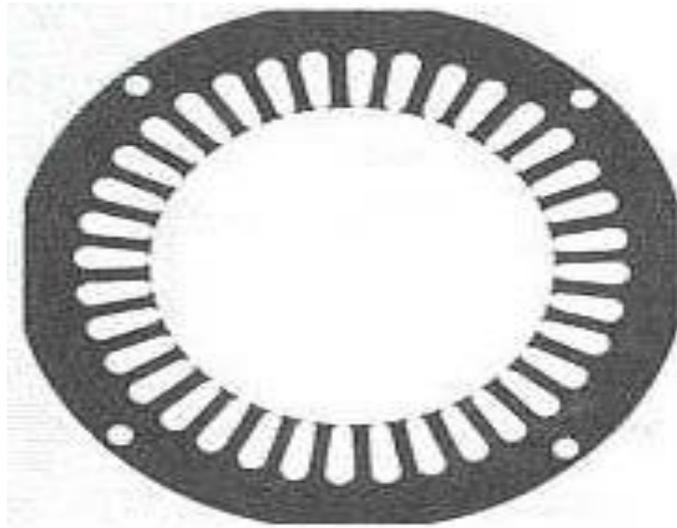


Gambar 2.19 Penampang Stator dan Rotor Motor Induksi Tiga Fasa

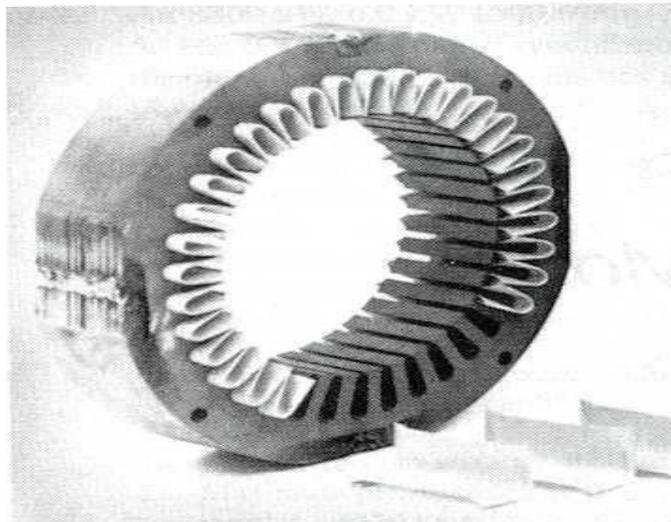
2.5.3.1 Stator

Stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan tempat mengalirnya arus fasa. Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas (Gambar 2.21). Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lempengan besi (Gambar 2.20). Tiap lempengan besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa dimana untuk motor tiga fasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar 120° . Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapisi dengan isolasi tipis[7].

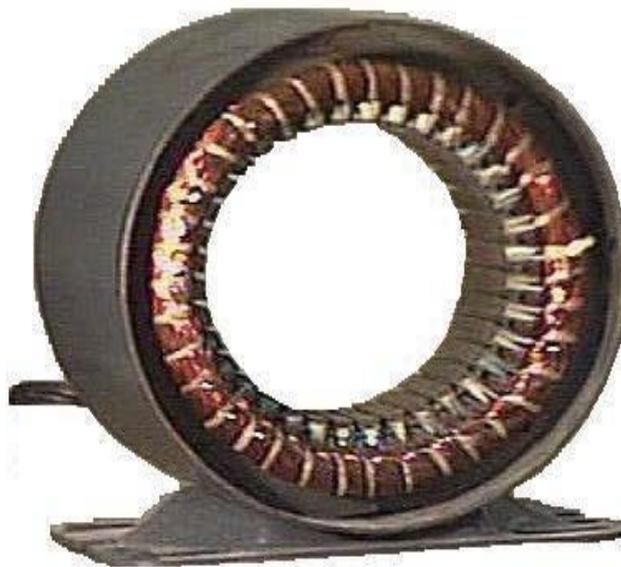
Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (Gambar 2.25). Berikut ini contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah dilekatkan pada cangkang luar untuk motor induksi tiga fasa.



Gambar 2.20 Lempengan Inti



Gambar 2.21 Tumpukan Inti dengan Kertas Isolasi pada Beberapa Alurnya

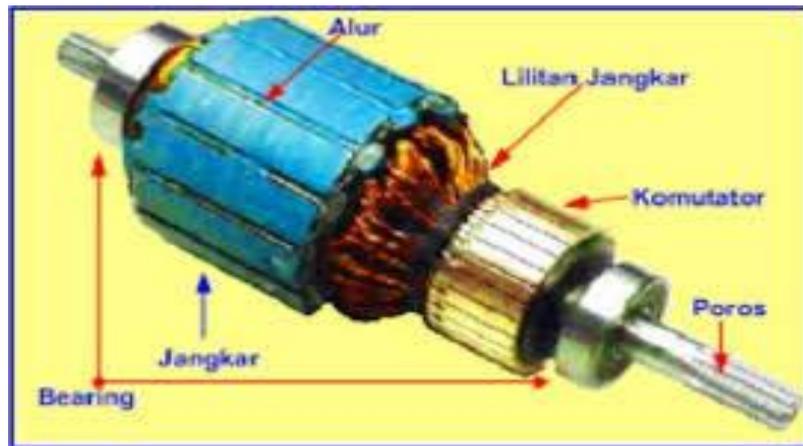


Gambar 2.22 Tumpukan Inti dan Kumparan dalam Cangkang Stator

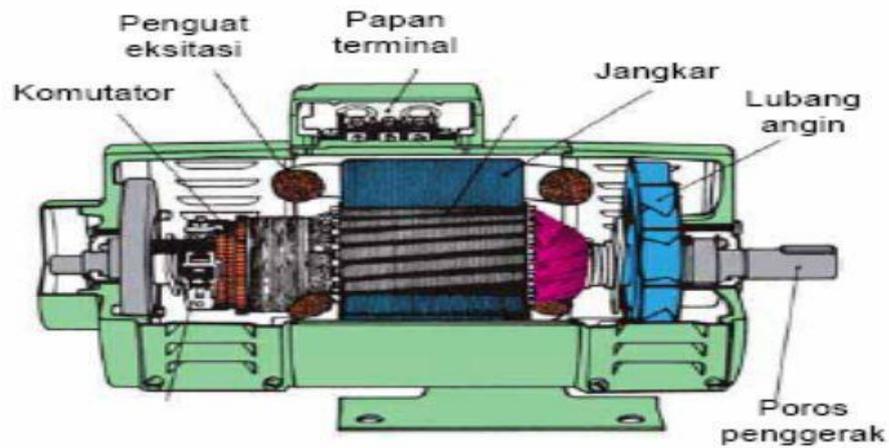
2.5.3.2 Rotor

Rotor merupakan bagian dari mesin yang berputar dan terletak dibagian dalam. Berdasarkan jenis rotornya, motor induksi tiga fasa dapat dibedakan menjadi dua jenis, yang juga akan menjadi penamaan untuk motor tersebut, yaitu rotor belitan (wound rotor) dan rotor sangkar tupai (squirrel cage rotor). Jenis rotor belitan terdiri dari satu set lengkap belitan tiga fasa yang merupakan bayangan dari belitan pada statornya[7].

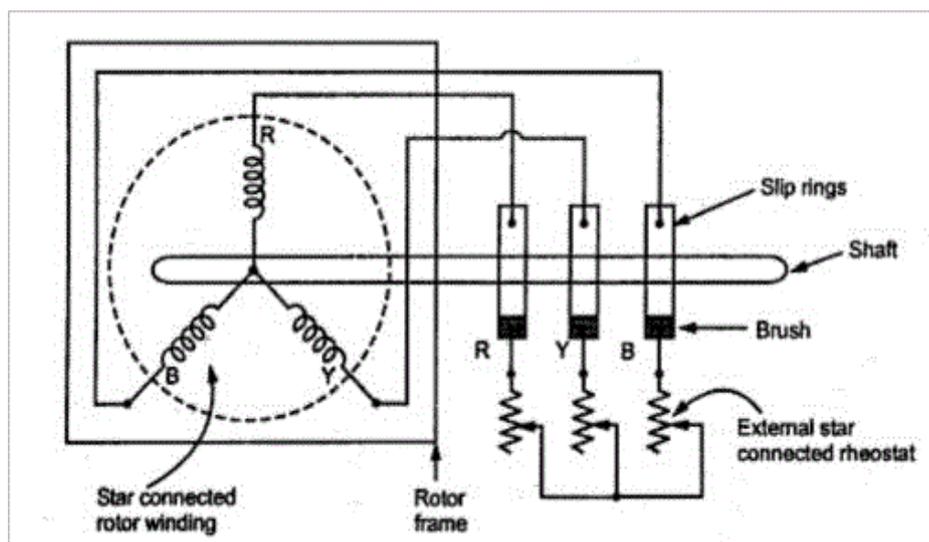
Belitan tiga fasa pada rotor belitan biasanya terhubung Y, dan masing-masing ujung dari tiga kawat belitan fasa rotor tersebut dihubungkan pada slip ring yang terdapat pada poros rotor (gambar 2.26). Belitan-belitan rotor ini kemudian dihubungkan singkatkan melalui sikat (brush) yang menempel pada slip ring (perhatikan gambar 2.27). dengan menggunakan sebuah perpanjangan kawat untuk tahanan luar.



Gambar 2.23 Tampilan Close-Up Bagian Slip Ring Rotor Belitan



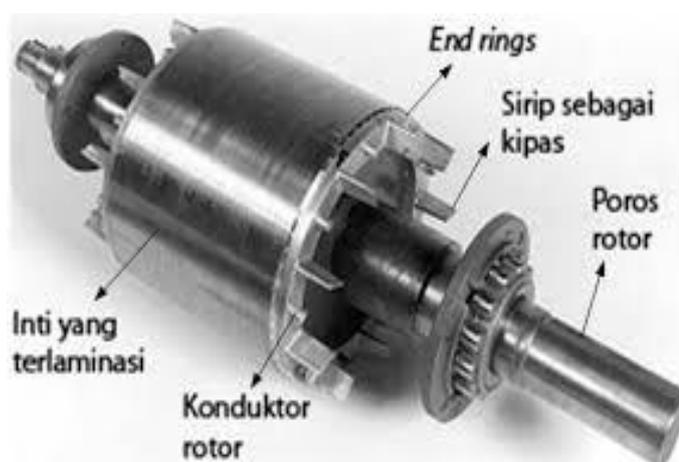
Gambar 2.24 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan



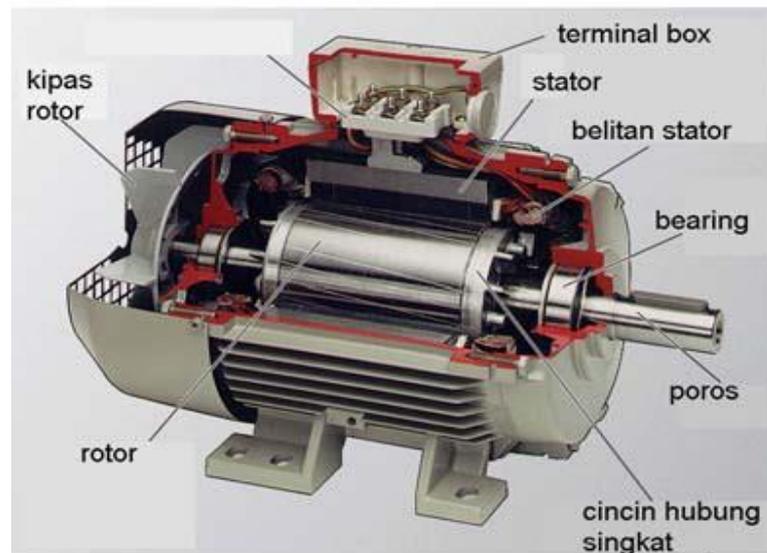
Gambar 2.25 Rangkaian Rotor Slip Ring

Dari gambar 2.25, dapat dilihat bahwa semata-mata keberadaan slip ring dan sikat hanyalah sebagai penghubung belitan rotor ke tahanan luar (*external resistance*). Keberadaan tahanan luar disini berfungsi pada saat pengasutan yang berguna untuk membatasi arus mula yang besar. Tahanan luar ini kemudian secara perlahan dikurangi sampai resistansinya nol sebagaimana kecepatan motor bertambah mencapai kecepatan nominalnya. Ketika motor telah mencapai kecepatan nominalnya, maka tiga buah sikat akan terhubung singkat tanpa tahanan luar sehingga rotor belitan akan bekerja seperti halnya rotor sangkar tupai.

Rotor sangkar mempunyai kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai. Rotor terdiri dari tumpukan lempengan besi tipis yang dilaminasi dan batang konduktor yang mengitarinya (perhatikan gambar 2.28) Tumpukan besi yang dilaminasi disatukan untuk membentuk inti rotor. Aluminium (sebagai batang konduktor) dimasukan ke dalam slot dari inti rotor untuk membentuk serangkaian konduktor yang mengelilingi inti rotor.



Gambar 2.26 Rotor Sangkar Tupai dan Bagian-bagiannya



Gambar 2.27 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai

2.5.4 Slip

Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkron. Jika hal ini terjadi maka rotor tidak akan berputar (diam) relatif terhadap fluksi yang berputar.

Berubah-ubahnya kecepatan motor induksi (n_r) mengakibatkan berubahnya arah slip dari 100% pada saat start sampai 0% pada saat motor diam ($n_r = n_s$).

Hubungan frekuensi dengan slip dapat dilihat sebagai berikut :

Bila f_1 = frekuensi pada jala-jala

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \quad \text{atau} \quad F_1 = \frac{P \cdot N_s}{120}$$

Pada rotor berlaku hubungan :

$$F_2 = \frac{P(N_s - N_r)}{p} \quad \text{atau} \quad F_2 = \frac{P \cdot N_s}{N_s} \cdot \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

Karena $\text{Slip}(\%) = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$)

$$\text{dan} \quad F_1 = \frac{P \cdot N_s}{120} \dots\dots\dots(2.6)$$

maka : $F_2 = F_1 \cdot S$

pada start $S = 100\%$, $F_2 = F_1$

Dengan demikian terlihat bahwa pada saat start dan rotor belum berputar, frekuensi pada rotor dan stator sama.

2.5.5 Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi satu fasa pada umumnya akan berputar pada kecepatan yang hampir konstan saat dihubungkan pada tegangan dan frekuensi yang konstan saat dihubungkan pada tegangan dan frekuensi yang konstan, kecepatannya sangat mendekati kecepatan sinkronya. Bila torsi beban bertambah, maka kecepatannya akan sedikit mengalami penurunan, sehingga motor induksi sangat cocok digunakan menggerakkan sistem yang membutuhkan kecepatan konstan. Namun dalam kenyataannya terutama di industri dikehendaki juga adanya pengaturan kecepatan. Pengaturan kecepatan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara, di antaranya :

1. Mengubah Jumlah Kutub

Karena kecepatan operasi motor induksi mendekati kecepatan sinkron maka motor dapat diubah dengan cara mengubah jumlah kutubnya sesuai dengan persamaan :

$$N_s = \frac{120 \cdot F}{P} \dots\dots\dots(2.7)$$

Hal ini dapat dilakukan dengan mengubah hubungan lilitan dari kumparan stator motor. Semakin banyak jumlah kutub, semakin rendah putaran yang terjadi. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian

rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda-beda. Normalnya diperoleh dua perolehan perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah jumlah kutub, misalnya dari 2 kutub menjadi 4 kutub.

2. Mengatur frekuensi sumber daya

Selain jumlah kutub, pengubahan frekuensi juga akan berpengaruh pada kecepatan putar motor induksi. Hal yang harus diperhatikan, bahwa dengan pengubah frekuensi adalah kerapatan fluks yang ada harus diusahakan tetap, agar kopel yang dihasilkan pun tidak berubah, untuk itu tegangan jaringan pun harus diubah seiring dengan pengubahan frekuensi. Hal yang umum dalam penerapan cara ini adalah dengan menggunakan perangkat yang dikenal sebagai inverter. Inverter berfungsi untuk mengubah listrik dc menjadi listrik ac. Dengan tegangan dan frekuensi yang dapat diatur.

3. Mengatur tegangan terminal.

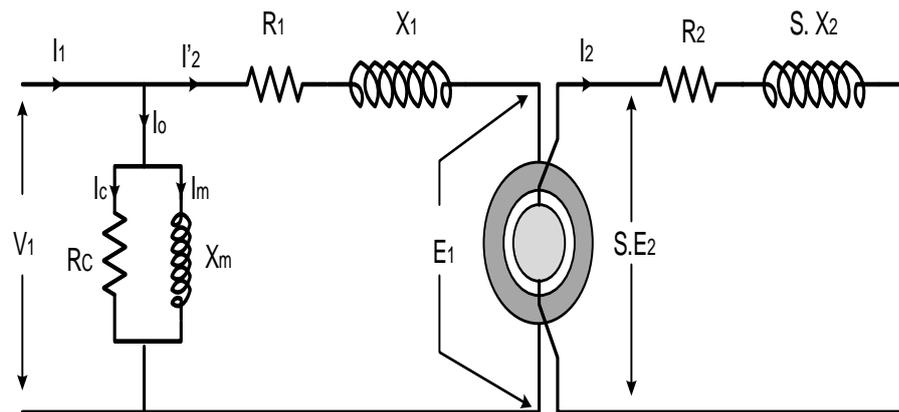
kopel motor induksi sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan. Apabila tegangan jaringan diubah sesuai dengan karakteristiknya, maka kopelnya pun berubah begitu pula dengan kecepatan putarannya. Cara ini hanya menghasilkan pengaturan putarannya. Cara ini hanya menghasilkan pengaturan putaran yang terbatas (daerah pengaturan sempit).

4. Pengaturan tahanan luar

Pengaturan kecepatan putaran dengan cara pengaturan tahanan luar hanya bisa dilakukan pada motor induksi rotor belitan. Dengan mengubah-ubah nilai tahanan luar yang terhubung ke rotor, maka besarnya kopel akan berubah, demikian juga pada kecepatan putarnya. Terdapat kerugian dari pengaturan

dengan cara ini ialah rendahnya efisiensi pada saat kecepatan putarnya dikurangi, dimana rugi-rugi daya dihasilkan cukup tinggi. Hal ini juga terdapat pada metode pengaturan dengan mengubah tegangan terminal.

2.5.5.1 Rangkaian Ekivalent Motor Induksi

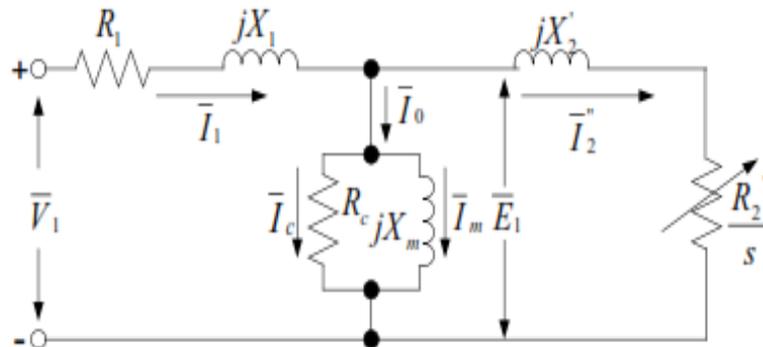


Gambar 2.28 Rangkaian Ekivalen Per-Fasa Motor Induksi Model Transformator

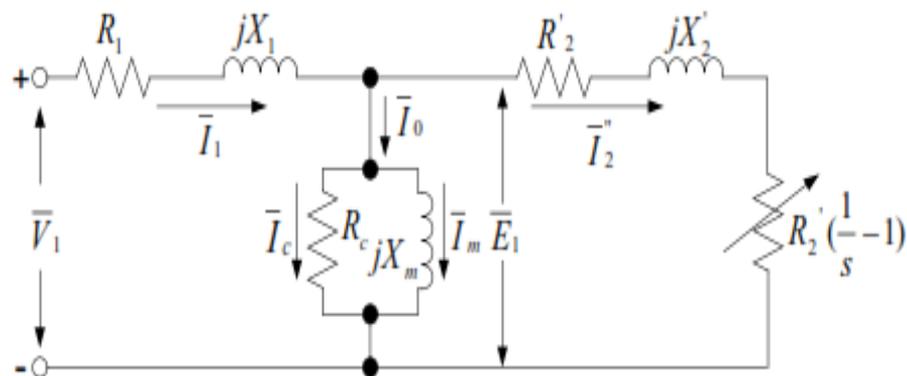
Untuk menghasilkan rangkaian ekivalen per-fasa akhir dari motor induksi, penting untuk menyatakan bagian rotor dari model rangkaian ekivalen gambar 2.28 di atas terhadap sisi stator.

Pada transformator yang umum, tegangan, arus, dan impedansi pada sisi sekunder, dapat dinyatakan terhadap sisi primer dengan menggunakan rasio perbandingan belitan dari transformator tersebut. Dengan mengasumsikan jenis rotor yang digunakan adalah jenis rotor belitan dan terhubung bintang (Y), yang mana motor dengan rotor jenis ini sangat mirip dengan transformator, maka kita dapat juga menyatakan sisi rotor terhadap sisi stator seperti halnya pada transformator.

Berikut adalah Rangkaian Ekivalen per-Fasa Motor Induksi dengan Bagian Rang-kaian Rotor Dinyatakan Terhadap Sisi Stator



Gambar 2.29 Rangkaian Dengan Tahanan Variable



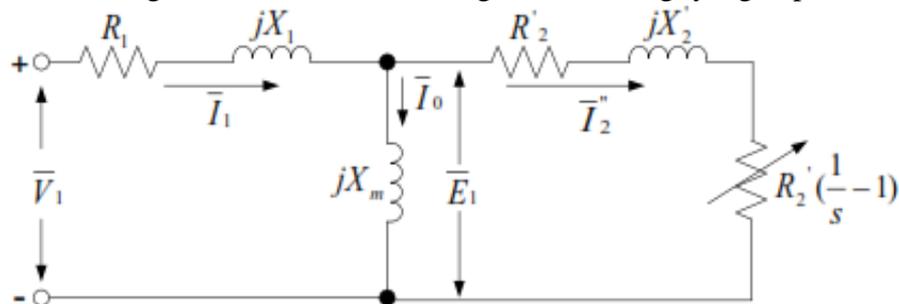
Gambar 2.30 Rangkaian Dengan Tahanan Variabel $R_2 \left(\frac{1}{s} - 1 \right)$ Sebagai Bentuk Analog

Listrik Dari Beban Mekanik

Pada transformator, analisis rangkaian ekivalen dilakukan dengan mengabaikan cabang paralel yang terdiri dari R_c dan X_m atau dengan memindahkan cabang paralel ke terminal primer. Bagaimanapun, penyederhanaan ini tidak diperbolehkan pada rangkaian ekivalen motor induksi. Ini disebabkan kenyataan bahwa arus penguatan pada transformator bervariasi dari 2% sampai 6% dari arus beban penuh dan per unit reaktansi bocor primer kecil. Tetapi pada motor induksi, arus penguatan bervariasi dari 30% sampai 50% dari arus beban penuh dan per unit reaktansi bocor stator adalah lebih tinggi. Dengan demikian

kesalahan yang besar akan terjadi dalam penentuan daya dan torsi, dalam hal cabang paralel diabaikan, atau dihubungkan pada terminal stator.

Dibawah kondisi kerja normal pada tegangan dan frekuensi konstan, rugi inti pada motor induksi biasanya juga konstan. Dalam pandangan pada kenyataan ini, tahanan rugi inti R_c yang mewakili rugi inti motor, dapat dihilangkan dari rangkaian ekivalen motor induksi pada gambar 2.22 Akan tetapi, untuk menentukan daya poros atau torsi poros, rugi inti yang konstan harus diikuti sertakan dalam pertimbangan, bersama dengan gesekan, rugi-rugi beban buta (stray-load losses) dan angin. Dengan penyederhanaan ini, maka dapat digambarkan rangkaian ekivalen baru dengan akurasi rugi yang dapat diabaikan.



Gambar 2.31 Rangkaian Ekivalen Per-Fasa Motor Induksi Dengan Mengabaikan Rugi Inti

2.5.6 Hukum Dasar Motor Induksi

Hukum dasar pertama yang mendasari prinsip pembangkitan tenaga listrik antara lain :

A. Hukum Induksi Faraday.

Apabila medan magnet berubah-ubah terhadap waktu akibat arus AC yang berbentuk sinusoidal, suatu medan listrik akan dibangkitkan atau diinduksikan, hubungan ini dinyatakan oleh hukum Faraday.

Disini dinyatakan bahwa integral garis suatu gaya listrik melalui garis lengkung yang tertutup adalah berbanding lurus dengan perubahan persatuan waktu dari arus induksi atau fluksi yang dilingkari oleh garis lengkung itu.

$$e = \int F^1 \cdot dl = - \frac{d}{dt} (B \cdot ds) = -N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

F^1 =Gaya listrik yang disebabkan oleh induksi (V/m).

dl = Elemen panjang (m).

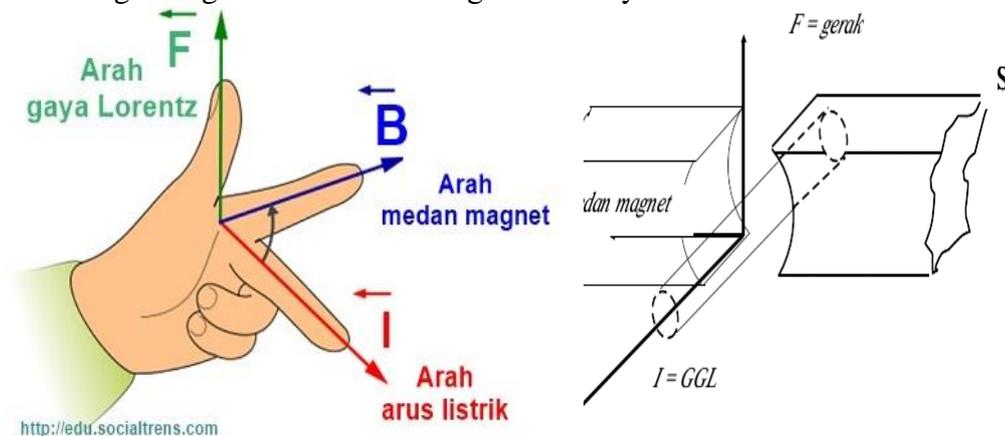
dt = Elemen waktu (sec)

ds = Elemen luas (m²)

B = Kerapatan fluks magnetik (wb/ m²)

B. Hukum Lorentz

Hukum Lorentz menyatakan bahwa pada suatu kejadian induksi elektromagnetika suatu tegangan yang diberikan menyebabkan mengalirnya arus pada suatu rangkaian tertutup dengan arah sedemikian rupa sehingga medan magnet yang dibangkitkan oleh arus itu akan melawan perubahan fluksi yang dihasilkan oleh arus penghantar itu. Untuk mengetahui arah arus dan besarnya medan magnet digunakan “kaidah tangan kanan” yaitu :



Gambar 2.32 Aturan Tangan Kanan Fleming untuk Menentukan Arah GGL Induksi

C. Hukum Maxwell.

Meyatakan bahwa integral keliling kuat medan magnet berbanding lurus dengan arus listrik yang dilengkapi integral itu.

$$I = \oint H \cdot dl = \oint ds \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

H = Intensitas medan magnet (H/m)

dl = Elemen panjang (m).

ds = Elemen luas (m²)

jadi : $I = \oint ds$

2.5.7 Pengaruh Perubahan Tahanan Rotor

Pembahasan ini hanya berlaku pada motor induksi rotor belitan. Pada jenis rotor ini tahanan luar dapat ditambahkan melalui ketiga cincin gesernya. Kegunaan tahanan luar ini adalah untuk memperbesar torsi motor.

Pada saat diasut, harga slip motor akan sama dengan satu. Torsi yang dibangkitkan pada rotor tergantung factor yang terdapat pada persamaan (2.6).

$$T = \frac{Kt \cdot \phi \cdot E_1 t \cdot Rr}{Rr^2 + (X_1 r)^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Bila catu tegangan dibuat tetap maka persamaan tersebut akan berubah menjadi :

$$T_{asut} = K'' \frac{Rr}{Rr^2 + (X_1 r)^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan penambahan tahanan rotor sebesar R_x per fase maka persamaan diatas dapat ditulis :

$$T_{asut} = K'' \frac{Rr + Rx}{(Rr + Rx)^2 + (X_1 r)^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

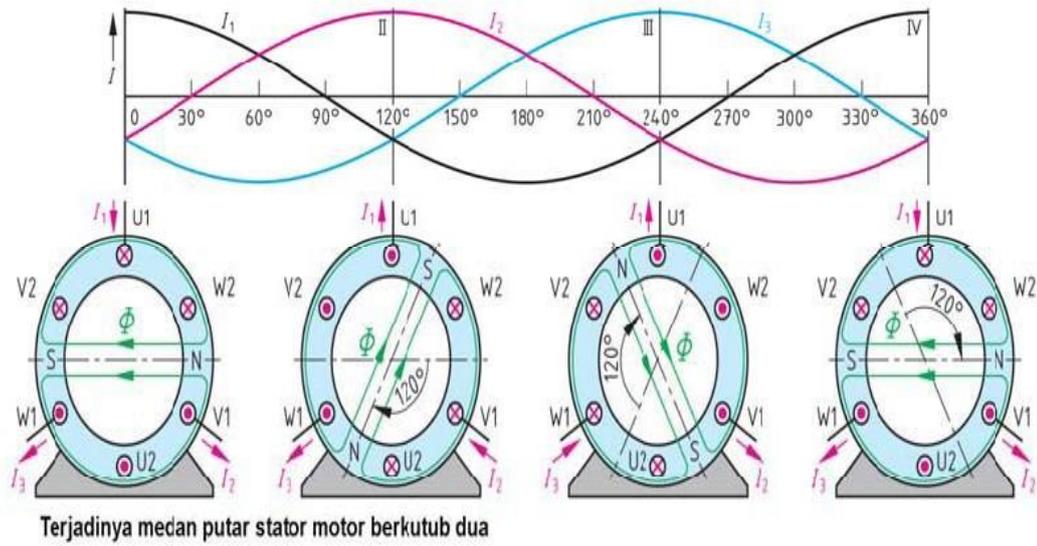
Dengan demikian factor daya rotor menjadi :

$$\cos \theta = \frac{Rr + Rx}{\sqrt{(Rr + Rx)^2 + (X_1 r)^2}} \dots\dots\dots(2.12)$$

2.5.8 Medan Putar

Perputaran motor pada mesin AC ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluksi yang berputar) yang dihasilkan dalam kecepatan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan statornya dihubungkan dengan fasa banyak, hubungan dapat berupa hubungan Y atau Δ .

Misalkan kumparan a-a, b-b dan c-c dihubungkan dengan tegangan 3 ϕ . Dengan beda fasa masing-masing 120° (gambar a) dan dialiri arus sinusoidal. Distribusi arus I_a , I_b dan I_c sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar b. Pada t_1 fluksi yang dihasilkan oleh kumparan a-a, sedangkan t_2 fluksi resultant mempunyai arah yang sama dengan arah fluksi yang dihasilkan oleh kumparan c-c dan untuk t_3 fluksi resultant mempunyai arah yang sama dengan arah yang dihasilkan oleh kumparan b-b untuk t_4 fluksi resultantnya berlawanan arah dengan fluksi yang dihasilkan oleh t_1 .



Gambar 2.33 Bentuk Gelombang Sinusoida dan Proses Terjadinya Medan Putar

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pengambilan data Inverter (Variable Frekuensi Drive) dan Motor Induksi 3 phasa, pada tanggal 05 Juli sampai dengan 09 Juli 2018 bertempat di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang digunakan untuk mengetahui penggunaan inverter sebagai media untuk menganalisa pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan motor induksi 3 phasa.

3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Inverter WJ 200 (Hitachi).
2. Pembaca rpm Motor Induksi.
3. Motor Induksi 3 Phasa.
4. Multimeter untuk mengukur parameter Inverter/VSD
5. Kabel Jumper.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah obyek penelitian, atau apa yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi objek atau variabel penelitiannya adalah pengamatan terhadap pengaruh perubahan frekuensi Inverter sehingga putaran pada motor 3 phasa akan berubah-ubah:

1. Variable Perubahan frekuensi inverter.

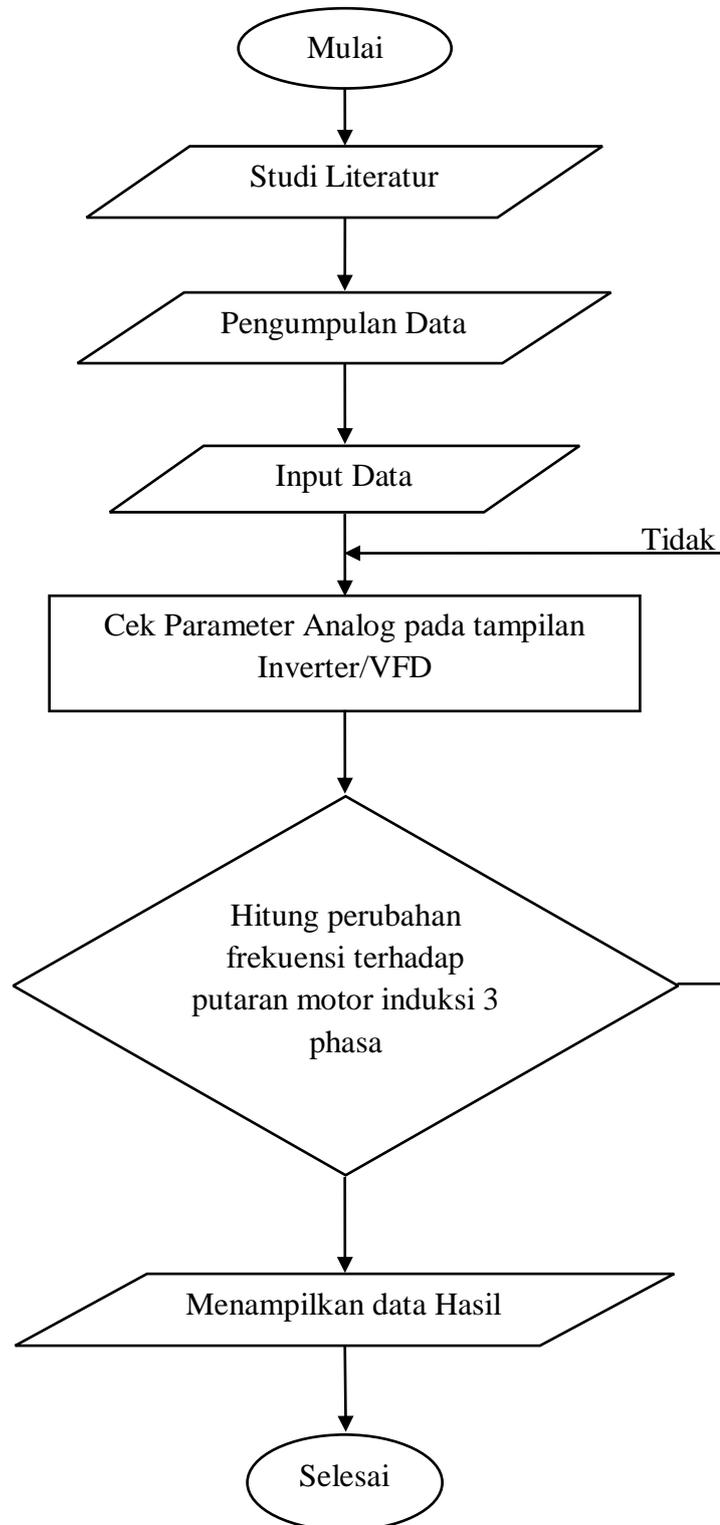
2. Variabel Kecepatan Putaran motor induksi 3 phasa.
3. Variabel frekuensi untuk perubahan putaran motor.
4. Variable jumlah kutub pada motor.
5. Variable efisiensi motor
6. Variable daya keluar motor dan daya masuk motor.

3.4 Jalannya Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat yang akan digunakan bersumber dari Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- b. Merakit rangkaian motor induksi 3 phasa yang terhubung dengan inverter.
- c. Melakukan setting dan mengukur tegangan, frekuensi, dan kecepatan putaran pada Panel Motor Induksi 3 phasa pada settingan (menggunakan frekuensi 20 hz – 40 hz).
- d. Menganalisis pengaruh perubahan frekuensi terhadap putaran motor induksi dari data yang sudah didapat dari hasil pengukuran.
- e. Studi Diagram Proses pengaturan frekuensi pada Inverter/Variable Frekuensi Drive, melakukan pengecekan parameter pada Inverter dari hasil yang diperoleh kemudian dikaitkan hasil ini terhadap pengaruh putaran motor induksi 3 phasa.
- f. Menyajikan hasil penyajian dalam bentuk tabel, data perhitungan dan grafik sebagai bahan hasil penelitian.
- g. Menyimpulkan bagaimana Inverter/Variable Frekuensi Drive dapat mengatur frekuensi secara otomatis sehingga dapat merubah putaran motor induksi 3 phasa.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.6 Teknik Analisa Data

Hal ini merupakan suatu langkah penting dalam penelitian, terutama bila digunakan sebagai simpulan tentang masalah yang diteliti. Dalam hal ini bersifat deskriptif, analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif persentase. Adapun analisis yang akan dilakukan adalah Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Putaran Motor Induksi 3 Phasa dan Perubahan Frekuensi Terhadap Efisiensi Motor Induksi 3 phasa.

3.6.1 Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Motor Induksi Sebelum Menggunakan Inverter

Apabila motor Induksi 3 phasa berputar, maka putaran motor induksi akan mencapai putaran maksimum sesuai dengan name plate pada motor karena frekuensi pada motor tidak dapat dirubah-rubah. Untuk lebih jelasnya dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana: N = Kecepatan Putaran (rpm)

f = Frekuensi (hertz)

p = Jumlah kutub pada motor induksi

3.6.2 Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Motor Induksi Sebelum Menggunakan Inverter

Apabila motor Induksi 3 phasa berputar maka perubahan antara frekuensi dan putaran dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana: N = Kecepatan Putaran (rpm)

f = Frekuensi (hertz)

p = Jumlah kutub pada motor induksi

3.6.3 Analisis Effisiensi Motor Induksi 3 phasa

Menghitung Effisiensi motor induksi 3 phasa terhadap penggunaan Inverter ketika frekuensi motor berubah, untuk mengetahui efisiensi motor induksi 3 phasa maka akan dijelaskan dengan rumus sebagai berikut:

$$n_{motor} = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana: η_{motor} = Effisiensi Motor

P_{out} = Daya Keluar Motor (watt)

P_{in} = Daya Masuk Motor (watt)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perubahan Frekuensi dan Tegangan Terhadap Putaran Motor Induksi Tiga Phasa

Penelitian ini diaplikasikan pada kasus, dimana objek kasus adalah mengatur putaran motor induksi tiga phasa melalui panel inverter dengan merubah frekuensi secara bergantian tergantung kebutuhan, dimulai sejak tanggal 05 Juli 2018 – 09 Juli 2018 bertempat di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan Alamat Jl. Muchtar Basri, Kec medan timur. Kab. Sumatra Utara, Indonesia.

Tujuan dalam penggunaan inverter pada pengontrolan kecepatan putaran motor induksi 3 phasa yaitu, jangkauan kecepatan yang sangat lebar (0,1-400Hz) dengan halus mengontrol motor dan melewati kecepatan nol, menggantikan peran kontaktor, sehingga memudahkan dalam wiring, dapat berfungsi sebagai pengaturan kecepatan motor induksi dengan lebih dari 2 kecepatan, mengurangi lonjakan arus pada starting motor (menghemat energi), karena inverter mempunyai Acceration dan Deccelaration time, dan sebagai pengaman dari motor, mesin (beban).

Perubahan kecepatan putaran motor induksi bisa dilakukan dengan metode Control Proportional Integrate Derivatif dimana parameter yang digunakan ialah untuk mengatur frekuensi secara otomatis sehingga terjadi perubahan putaran yang berbeda-beda disebabkan dengan (rumus 2.1):

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan rumus di atas maka diketahuilah jumlah putaran motor induksi dengan pengaturan frekuensi, sedangkan jumlah kutub (p) didapat melalui name plate motor induksi tiga fasa, dan 120 konstanta.

Data-data yang diperoleh dari Inverter beserta daya dan Putaran Motor Induksi 3 Fasa di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara adalah sebagai berikut

Tabel 4.1 Frekuensi, Putaran Motor Terukur, dan Daya

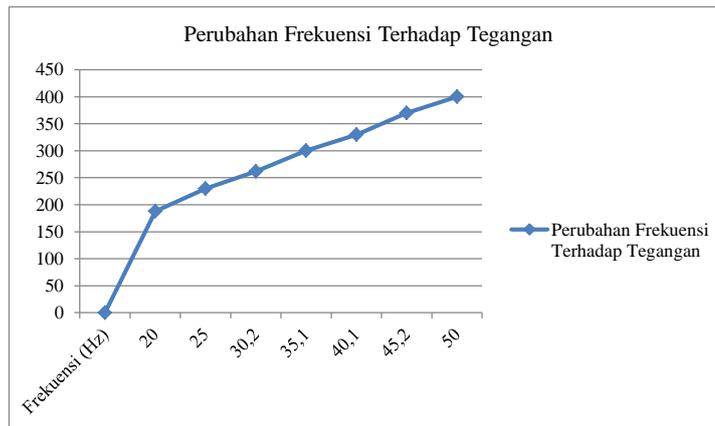
NO	Frekuensi (Hz)	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Daya (kw)
1	20,0	601	188	0,06
2	25,0	750	230	0,06
3	30,2	904	262	0,07
4	35,1	1051	300	0,07
5	40,1	1200	330	0,08
6	45,2	1351	370	0,08
7	50,0	1495	400	0,09

4.1.1 Perubahan Frekuensi Terhadap Tegangan Motor

Dari tabel diatas perbandingan antara frekuensi terhadap putaran dan tegangan yang diberi maka didapatlah hasil pengaturan kecepatan putaran motor induksi dengan menggunakan Inverter dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Ketika frekuensi output yang dihasilkan 20,0 Hz maka tegangan yang diberi adalah 188 Volt dan putaran yang terukur oleh pembaca rpm sebesar 601 rpm.
- b. Ketika frekuensi output yang dihasilkan 25,0 Hz maka tegangan yang diberi adalah 230 Volt dan putaran yang terukur oleh pembaca rpm sebesar 750 rpm.
- c. Ketika frekuensi output yang dihasilkan 30,2 Hz maka tegangan yang diberi adalah 262 Volt dan putaran yang terukur oleh pembaca rpm sebesar 904 rpm.
- d. Ketika frekuensi output yang dihasilkan 35,2 Hz maka tegangan yang diberi adalah 300 Volt dan putaran yang terukur oleh pembaca rpm sebesar 1051 rpm.
- e. Ketika frekuensi output yang dihasilkan 40,1 Hz maka tegangan yang diberi adalah 331 Volt dan putaran yang terukur oleh pembaca rpm sebesar 1200 rpm.
- f. Ketika frekuensi output yang dihasilkan 45,2 Hz maka tegangan yang diberi adalah 365 Volt dan putaran yang terukur oleh pembaca rpm sebesar 1351 rpm.
- g. Ketika frekuensi output yang dihasilkan 50,0 Hz maka tegangan yang diberi adalah 400 Volt dan putaran yang terukur oleh pembaca rpm sebesar 1495 rpm.

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi masukan motor, maka semakin besar tegangan motor yang dihasilkan, bisa dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.2 Grafik Frekuensi Terhadap Tegangan Motor

Dari penjelasan diatas dengan menggunakan rumus maka didapat hasil perhitungannya seperti pembahasan analisis dibawah ini:

4.2 Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Motor Induksi Sebelum

Menggunakan Inverter

Sesuai dengan data yang ada di name plate motor maka frekuensinya dapat diketahui yaitu 50 Hz dan putaran motor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

$$a. n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500rpm$$

Maka perubahan frekuensi pada motor induksi sebelum menggunakan inverter yaitu 50 Hz sesuai dengan name plate pada motor, dan putaran motor yaitu 1500 rpm. Oleh karena itu frekuensi pada motor sebelum menggunakan inverter tidak dapat dirubah-rubah.

4.3 Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Motor Induksi Sesudah

Menggunakan Inverter

Sesuai dengan data yang ada pada tabel 4.1 maka putaran motor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

$$\text{a. } n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \times 20,1}{4} = 601 \text{ rpm}$$

Jika dihitung dengan rumus kecepatan motor adalah $n = 601$ rpm, sedangkan kecepatan motor saat beroperasi menggunakan inverter adalah $n = 595$ rpm. Sehingga perbedaan perhitungan adalah $(601-601)/601 = 0\%$.

$$\text{b. } n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \times 25,0}{4} = 750 \text{ rpm}$$

Jika dihitung dengan rumus kecepatan motor adalah $n=750$ rpm, sementara kecepatan motor saat beroperasi menggunakan inverter adalah $n=750$ rpm. Sehingga perbedaan perhitungan adalah $(750-750)/750 = 0\%$.

$$\text{c. } n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \times 30,2}{4} = 906 \text{rpm}$$

Jika dihitung dengan rumus kecepatan motor adalah $n=906$ rpm, sedangkan kecepatan motor saat beroperasi menggunakan inverter adalah $n=904$ rpm. Sehingga perbedaan perhitungannya adalah $(906-904)/906 = 0,22 \%$.

$$\text{d. } n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \times 35,2}{4} = 1056 \text{rpm}$$

Jika dihitung dengan rumus kecepatan motor adalah $n=1056$ rpm, sementara kecepatan motor saat beroperasi menggunakan inverter adalah $n=1049$ rpm. Sehingga perbedaan perhitungan adalah $(1056-1051)/1056 = 0,47 \%$.

$$\text{e. } n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \times 40,1}{4} = 1203 \text{rpm}$$

Jika dihitung dengan rumus kecepatan motor adalah $n=1203$ rpm, sedangkan kecepatan motor saat beroperasi menggunakan inverter adalah $n=1200$ rpm. Sehingga perbedaan perhitungan adalah $(1203-1200)/1203 = 0,24 \%$.

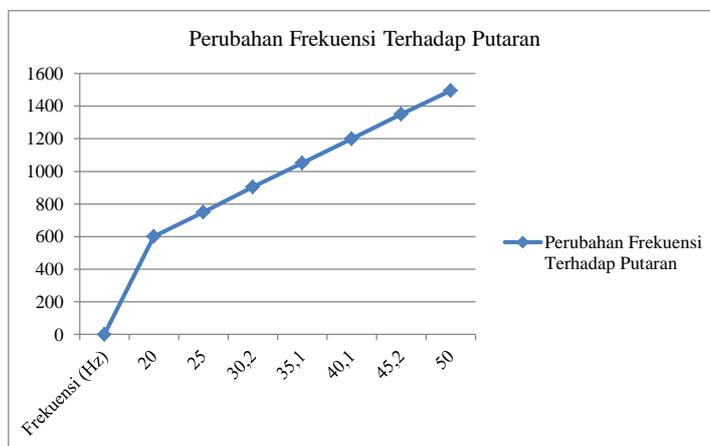
$$\text{f. } n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \times 45,2}{4} = 1356 \text{rpm}$$

Jika dihitung dengan rumus kecepatan motor adalah $n=1356$ rpm, sedangkan kecepatan motor saat beroperasi menggunakan inverter adalah $n=1351$ rpm. Sehingga perbedaan perhitungan adalah $(1356-1350)/1356 = 0,44 \%$.

$$g. \quad n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \times 50,0}{4} = 1500rpm$$

Jika dihitung dengan rumus kecepatan motor adalah $n=1500$ rpm, sedangkan kecepatan motor saat beroperasi menggunakan inverter adalah $n=1500$ rpm. Sehingga perbedaan perhitungan adalah $(1500-1495)/1500 = 0,33 \%$

4.3.1 Grafik Perubahan Frekuensi Terhadap Putaran Motor



Gambar 4.3 Grafik Frekuensi Terhadap Putaran Motor

4.4 Analisis Efisiensi Motor Induksi

$$\eta_{motor} = \frac{P_{OUTPUT}}{P_{INPUT}} \times 100\%$$

$$\text{a. } \eta_1 = \frac{P_{OUTPUT}}{P_{INPUT}} \times 100\% = \frac{0,06}{0,75} \times 100\% = 8\%$$

$$\eta_2 = \frac{P_{OUTPUT}}{P_{INPUT}} \times 100\% = \frac{0,06}{0,75} \times 100\% = 8\%$$

b.

$$\text{c. } \eta_3 = \frac{P_{OUTPUT}}{P_{INPUT}} \times 100\% = \frac{0,07}{0,75} \times 100\% = 9,3\%$$

$$\eta_4 = \frac{P_{OUTPUT}}{P_{INPUT}} \times 100\% = \frac{0,07}{0,75} \times 100\% = 9,3\%$$

d.

$$\text{e. } \eta_5 = \frac{P_{OUTPUT}}{P_{INPUT}} \times 100\% = \frac{0,08}{0,75} \times 100\% = 10,7\%$$

$$\text{f. } \eta_6 = \frac{P_{OUTPUT}}{P_{INPUT}} \times 100\% = \frac{0,08}{0,75} \times 100\% = 10,7\%$$

$$\eta_7 = \frac{P_{OUTPUT}}{P_{INPUT}} \times 100\% = \frac{0,09}{0,75} \times 100\% = 12\%$$

g.

$$\eta_{rata-rata} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5 + \eta_6 + \eta_7}{7}$$

$$= \frac{8 + 8 + 9,3 + 9,3 + 10,7 + 10,7 + 12}{7} = 9,4\%$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.

1. Semakin besar putaran motor induksi maka daya keluaran yang dihasilkan akan semakin besar dan frekuensi yang dihasilkan akan juga bertambah besar.
2. Semakin besar daya keluaran yang digunakan maka efisiensi yang dihasilkan motor induksi akan semakin bertambah besar.

5.2 Saran

Mengingat studi dilakukan dengan keterbatasan dan asumsi-asumsi, maka perlu untuk memperhatikan hal-hal sebagai berikut ini :

1. Inverter ini memiliki daya keluaran 5500 Watt. Sedangkan kita ketahui bersama, pada saat ini kebutuhan akan energi listrik yang sangatlah besar. Sehingga inverter ini bisa ditambahkan lagi daya keluarannya.
2. Inverter ini dapat dikembangkan dengan menambah filter harmonisa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Nasution, J. T. Elektro, and P. N. Jakarta, “Analisis Sistem Kerja Inverter untuk Mengubah Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa sebagai Driver Robot,” *Ilm.ELIT. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 139–143, 2012.
- [2] H. Tjahjono, “Sistem pengendali arus start motor induksi fasa tiga dengan variasi beban,” vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2012.
- [3] L. R. Aliyan, R. N. Hasanah, and M. A. Muslim, “Desain Inverter Tiga Fasa dengan Minimum Total Harmonic Distortion Menggunakan Metode SPWM,” *J. EECCIS*, vol. 8, no. 1, pp. 79–84, 2014.
- [4] F. H. Tampubolon, U. Indonesia, F. Teknik, and P. S. Ekstensi, “Perancangan Switching Power Supply Untuk Mencatu Sistem Pensaklaran IGBT pada Inverter,” 2010.
- [5] M. J. Anggarjito, K. Astrowulan, and R. E. A. K, “Perancangan dan Implementasi Kontroler PID dengan Nonlinier Decoupling pada Sistem Kendali Way-To-Way Point UAV Quadcopter,” *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 2, pp. 1–6, 2013.
- [6] D. Kumolo, B. Sugiyantoro, and E. Firmansyah, “Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga,” vol. 1, pp. 68–71, 2014.
- [7] B. A. B. Ii and T. Pustaka, “No Title,” pp. 5–28.