

TUGAS AKHIR

**“PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN
SISTEM KONTROL PADA VARIABLE SPEED DRIVE (VSD)”**

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

Diajukan Oleh :

RIZKI ANANDA
NPM : 1307220078



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

ABSTRAK

Dalam suatu proses produksi di suatu industri, banyak mesin bergerak yang saling berinteraksi untuk memproduksi suatu barang. Mesin bergerak maju mundur atau berputar kiri kanan bahkan dengan kecepatan yang berbeda adalah salah satunya digerakkan oleh motor listrik sebagai penggerak dan pada umumnya motor yang dipergunakan adalah motor AC Induksi phasa. Untuk mendapatkan variasi kecepatan motor adalah hal yang tidak sederhana. Metode untuk mengendalikan motor Induksi 3 phase yang sederhana adalah dengan menggunakan Variable Speed Drive (VSD). VSD adalah alat pengubah arus DC ke arus AC yang cara kerjanya adalah, pertama input VSD adalah arus AC 380/400 Volt, lalu dirubah ke DC 24 Volt, kemudian difilter, setelah itu diubah lagi ke AC 380 yang frekuensinya dapat diubah 5 - 50 Hz dan diatur sesuai kebutuhan secara otomatis yang disebut Proportional Intregate Derivatif. Dengan demikian frekuensi keluaran ini akan berpengaruh terhadap putaran motor. Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian pada PT. Lafarge Cement Indonesia, ketika tegangan 316,41 volt, frekuensi yang dihasilkan sebesar 41,22 Hz dengan putaran yang terbaca sebesar 123,6 rp. Ketika tegangan 320,2 volt, frekuensi yang dihasilkan sebesar 41,83 Hz dengan putaran yang terbaca sebesar 125,5 rpm. Ketika tegangan 321,29 volt, frekuensi yang dihasilkan sebesar 42,08 Hz dengan putaran yang terbaca sebesar 126,2 rpm

Kata kunci: Motor Induksi, Variable Speed Drive (VSD), Frekuensi.

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.

Dengan segenap perjuangan dan tindakan akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN SISTEM KONTROL PADA VARIABLE SPEED DRIVE (VSD)”**

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

1. Teristimewa buat Ayahanda Utah Usdeka, Ibunda Legiyem, Abngda Dicki Prediansyah, yang telah banyak memberikan doa, nasehat, dorongan baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Rahmatullah,S.T.,M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T., sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro.Sekaligus dosen pembimbing II. Pada penulisan tugas akhir
4. Bapak Dr.Ir.Suwarno M.T., sebagai Dosen Pembimbing I.
5. Seluruh staf dosen di Fakultas Teknik , khususnya Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teman-Teman sejawat dan seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya Program Studi Teknik Elektro angkatan 2013, yang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan tugas akhir 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, Oktober 2017

Penulis

Rizki Ananda
1307220078

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
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 Variable Speed Drive	10
2.2.1 Spesifikasi Variable Speed Drive	11
2.2.2 Struktur Variable Speed Drive	12
2.2.3 Inverter Tiga Fasa	16
2.2.4 Penyearah Gelombang AC (Dioda Rectifier)	17
2.2.5 Pengendalian Tegangan Variable Speed Drive	19
2.3 Prinsip Pengaturan Kecepatan Motor Menggunakan VSD	21

2.3.1 Sistem Pengontrolan PID	23
2.4 Motor Induksi Tiga Fasa	28
2.4.1 Hukum Dasar Motor Induksi.....	31
2.4.2 Prinsip Kerja Motor Induksi	33
2.4.3 Medan Putar	34
2.4.4 Slip	35
2.4.5 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa	36
2.4.6 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi	41

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian	44
3.2 Alat Penelitian	44
3.3 Variabel Penelitian Penelitian	44
3.4 Jalannya Penelitian	45
3.5 Blok Diagram Proses Pengontrolan Motor	46
3.6 Tampilan Kerja Mesin Crusher	46
3.7 Teknik Analisa Data	47
3.7.1 Analisis Perubahan Frekuensi Motor Induksi	47
3.7.2 Analisis Effisiensi Motor Terhadap Penggunaan VSD	47

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Frekuensi Dan Tegangan Terhadap Putaran Motor	49
4.1.1 Analisa Perhitungan Torque Terhadap Kecepatan Putaran..	51
4.1.2 Analisis Effisiensi Motor Terhadap Penggunaan VSD	54
4.2 Grafik Frekuensi Terhadap Kecepatan	55

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel VSD MM440	12
Gambar 2.2 Sirkuit Inverter VSD	13
Gambar 2.3 Bentuk Gelombang AC 1 Hz	15
Gambar 2.4 Jumlah Frekuensi.....	15
Gambar 2.5 Penyearah gelombang penuh dengan jembatan wheatstone	18
Gambar 2.6 Penyearah gelombang penuh 3 fasa (poly phase)	17
Gambar 2.7 Gelombang AC 3 fasa keluaran penyearah gelombang penuh ..	19
Gambar 2.8 Pembentukan Gelombang AC dengan Teknik PWM.....	20
Gambar 2.9 Blok Diagram Kontrol PID	23
Gambar 2.10 PLC Modicon Quantum 140 CPU 651 60S	26
Gambar 2.11 Terminal pada VSD.....	28
Gambar 2.12 Menentukan Arah GGL Induksi.....	32
Gambar 2.13 Proses Terjadinya Medan Putar.....	35
Gambar 2.14 Penampang Stator dan Rotor Motor Induksi Tiga Fasa.....	36
Gambar 2.15 Lempengan Inti.....	37
Gambar 2.16 Inti dengan Kertas Isolasi pada beberapa alurnya	37
Gambar 2.17 Inti dan Kumparan dalam Cangkang Stator	38
Gambar 2.18 Tampilan Close-Up Bagian Slip Ring Rotor Belitan	39
Gambar 2.19 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan	39
Gambar 2.20 Skematik Diagram Motor Induksi Rotor Belitan	39
Gambar 2.21 Rotor Sangkar Tupai dan Bagian-bagiannya	40
Gambar 2.22 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai.....	41

Gambar 2.23 Rangkaian Ekivalen Per-Fasa Motor Induksi Model Trafo.....	41
Gambar 2.24 Rangkaian Ekivalen Dengan Tahanan Variabel.....	42
Gambar 2.25 Rangkaian Ekivalen Dengan Tahanan Variabel R_2	42
Gambar 2.26 Rangkaian Ekivalen Mengabaikan Rugi Inti	43
Gambar 3.1 Blok Diagram Proses Pengontrolan Motor.....	46
Gambar 3.2 Tampilan Kerja Mesin Crusher	46
Gambar 3.3 Flowchart Penelitian.....	48
Gambar 4.1 Kerja VSD Pada Tampilan DCS	51
Gambar 4.2 Grafik Frekuensi Terhadap Kecepatan	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembentukan Tegangan AC	11
Tabel 2.2 Parameter Pengoperasian VSD	21
Tabel 4.1 Data Tegangan, Frekuensi Dan RPM Terukur	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Motor induksi memiliki keunggulan dalam hal kesederhanaan dan murah biaya perawatan sehingga jenis motor ini banyak dipakai di lingkungan industri maupun rumah tangga. Pengendalian kecepatan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya dengan kendali tegangan dan frekuensi.

VSD (*Variable Speed Drive*) adalah sebuah alat yang terdiri rectifier, filter, inverter, dan panel kontrol untuk mengontrol nilai output yang dihasilkan. Nilai yang dapat dikontrol oleh VSD (*Variable Speed Drive*) adalah nilai frekuensi dari tegangan output yang akan masuk ke motor induksi. Sistem kontrol kecepatan motor induksi dengan menggunakan VSD (*Variable Speed Drive*) sama dengan sistem kontrol motor induksi menggunakan inverter, hal ini dikarenakan tegangan output dari VSD (*Variable Speed Drive*) merupakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dibangkitkan oleh inverter di dalam VSD (*Variable Speed Drive*). Keuntungan operasi inverter PWM (*Pulse Width Modulation*) sebagai teknik konversi dibanding jenis-jenis inverter lainnya adalah rendahnya distorsi harmonik pada tegangan keluaran dibanding dengan jenis inverter lainnya. Selain itu teknik PWM (*Pulse Width Modulation*) sangat praktis dan ekonomis untuk diterapkan berkat semakin pesatnya perkembangan semikonduktor (terutama komponen daya yang mempunyai waktu penyaklaran sangat cepat). Pada pengendalian kecepatan motor induksi, teknik PWM (*Pulse*

Width Modulation) mempunyai kelebihan yang mampu menggerakkan motor induksi dengan putaran halus dan rentang yang lebar.

Penulis mencoba untuk menganalisa sistem kerja VSD yang mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa yang dikontrol dengan Kontrol PID. VSD disini mengubah kecepatan motor induksi tiga fasa dengan cara mengatur frekuensi outputnya. Kemudian output VSD ini di drive ke motor sehingga putaran motor dapat berubah ketika frekuensi yang diatur melalui PID kontroler.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a) Bagaimanakah pengaruh frekuensi terhadap kecepatan putaran motor induksi?
- b) Bagaimanakah analisis efisiensi motor terhadap penggunaan *variable speed drive* (VSD)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

- a. Menganalisis pengaruh frekuensi terhadap kecepatan putaran motor induksi.
- b. Menganalisis efisiensi motor terhadap penggunaan *variable speed drive* (VSD).

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari 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 pengaturan kecepatan *Motor Apron (75 kW) di Limestone Crusher*.
- b. Merupakan *variable speed drive MM440* produk *Siemens*.
- c. Membahas prinsip kerja pengaturan frekuensi menggunakan *variable speed drive* untuk mengatur putaran motor induksi.
- d. Tidak membahas harmonisa dan gangguan yang terjadi pada motor induksi.
- e. Tidak membahas kontruksi motor tiga phasa secara rinci.
- f. Tidak membahas pengendalian kecepatan menggunakan PLC.
- g. Tidak membahas kontrol PID lebih mendalam.

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 motor induksi (*Motor Apron Conveyor Feeder*) 75kW/ 139,7A.
- b. Mengumpulkan beberapa data yang valid untuk dijadikan bahan
- c. Studi literatur: Mengambil bahan dari buku-buku referensi, jurnal dan perpustakaan.
- d. Menyusun, mengolah dan menganalisa dari hasil data yang diperoleh.

- e. 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 tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab, sesuai dengan sistematika/ketentuan dalam pembuatan tugas akhir, 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 penggunaan *variable speed drives* sebagai pengatur kecepatan motor induksi.

BAB III : METODELOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai langkah-langkah melakukan pengolahan data yang bersumber dari PT. Lafarge Cement Indonesia.

BAB IV : ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

Disini mengenai hasil pembahasan berdasarkan judul serta dasar teori yang telah dibuat.

BAB V : PENUTUP

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 tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Relevan

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

- a. Muhammad Nur (2013), Penelitian tentang Pengaturan Level Ketinggian Air Berbasis Inverter Drive LG – SV008iC5. Tulisan ini membahas tentang perancangan, pembuatan perangkat keras, dan pembuatan program untuk aplikasi pengaturan level ketinggian air berbasis Inverter Drive LG - SV008iC5. Aplikasi ini berupa simulasi pengaturan level ketinggian dan kestabilan air pada bak penampungan. Alat simulasi level ketinggian air terdiri dari bak penampungan dan bak sumber air, motor AC 3 phase, sensor dan panel kendali. Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik untuk mendeteksi level ketinggian air. Panel kendali terdiri dari mikrokontroller jenis AVR ATmega 8535, modul Inverter LG - SV008iC5 dan seperangkat terminal penghubung. Untuk mengetahui kinerja alat, telah dilakukan serangkaian pengujian. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa alat telah berfungsi dengan baik. Inverter Drive LG - SV008iC5 mampu mengendalikan kecepatan putaran motor AC 3 phasa dalam beberapa kondisi level ketinggian air.

- b. Andre Pratama (2010), Penelitian tentang Rancang Bangun Inverter 3 Phase Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi. Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan di bidang industri

dibandingkan motor jenis lain. Ini dikarenakan motor induksi tiga fasa memiliki banyak keunggulan. Tetapi terdapat juga suatu kelemahan dari motor induksi tiga fasa yaitu kesulitan dalam mengatur kecepatan. Karena pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa pada dasarnya dapat dilakukan dengan mengubah jumlah kutub motor atau mengubah frekuensi suplai motor. Pengaturan kecepatan dengan mengubah jumlah kutub sangat sulit karena dilakukan dengan merubah konstruksi fisik motor, jadi pengaturannya akan sangat terbatas sedangkan pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan mengubah frekuensi suplai motor akan jauh lebih mudah dan tidak terbatas tanpa harus merubah konstruksi fisik motor. Inverter ini menggunakan enam buah mosfet yang dipicu oleh ic IR2130 dan dikendalikan oleh mikrokontroller ATmega 16. Modul ini diuji dengan motor induksi tiga fasa menggunakan sistem open loop dengan pembebanan rem. Kecepatan motor akan ditampilkan oleh tachometer yang dikendalikan oleh mikrokontroller ATmega 16 lainnya. Modul dalam tugas akhir ini akhirnya sudah dapat digunakan mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa rotor bajing terhubung segitiga 220 volt dari kecepatan sekitar 150 rpm pada frekuensi 5 Hz sampai sekitar 1100 rpm pada frekuensi 50 Hz.

- c. Agus Salim (2012), Penelitian tentang Rancang Bangun Inverter 12V DC Ke 220V AC Dengan Frekwensi 50 Hz Dan Gelombang Keluaran Sinusoidal. Salah satu sistem elektronika yang kita kenal adalah intverter yang berfungsi mengubah tegangan DC Menjadi tegangan AC, salah satunya adalah DC 12V menjadi tegangan 220 AC 50Hz dan gelombang keluarannya sinusoidal. Inverter ini sangat berfungsi sebagai penyedia listrik cadangan baik

di kendaraan maupun di rumah, sebagai *emergency power* saat aliran listrik rumah padam. Selain itu di masa mendatang, inverter DC to AC akan memegang peranan penting dalam mengubah energi DC dari sumber energi terbarukan sel surya menjadi energi listrik AC yang kita gunakan sehari-hari. *Low pass filter* (tapis lolos-rendah atau LPF) adalah suatu rangkaian yang meneruskan sinyal - sinyal yang memiliki frekuensi dibawah frekuensi transisinya, dan melemahkan sinyal -sinyal yang memiliki frekuensi diatas frekuensi transisinya.

- d. 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.

- e. Supriyadi Nasution (2009), Penelitian tentang Analisa Sistem Kerja Inverter untuk Mengubah Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa sebagai Driver Robot. Tulisan ini berisi tentang analisis sistem kerja inverter pada motor induksi tiga fasa. Motor ini dipakai sebagai penggerak robot Harmo HE 250 G icc dan sebagai pengontrolnya dipergunakan *controller* KG 204. Penelitian bertujuan untuk mengetahui cara kerja unit inverter. Diketahui bahwa pada inverter frekuensi outputnya dapat *diadjust* guna mengubah kecepatan dari motor induksi tiga fasa. Dengan mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar maka rentang pengaturan kecepatan putar motor akan lebih panjang atau lebih leluasa frekuensi pada robot Harmo HE 250 G icc dapat diketahui melalui suatu tindakan pengukuran menggunakan CRO atau *osilloscope*. Hasil pengukuran dan analisis menunjukkan bahwa inverter akan mengubah frekuensi sesuai dengan perintah atau input dari *controller* KG 204 yang ada pada robot. Dimana apabila input kecepatan naik maka inverter mengeluarkan output frekuensi naik dan motor induksi berputar cepat. Begitulah seterusnya juga demikian untuk keadaan sebaliknya.

Berdasarkan peneltian diatas, maka pada penelitian ini akan Menganalisis pengaruh frekuensi terhadap kecepatan Motor Induksi dan efisiensi motor terhadap penggunaan VSD.

2.2 Variable Speed Drive

Variable Speed Drive atau juga disebut dengan Variable Frequency Drive atau singkatnya disebut dengan Inverter adalah suatu rangkaian yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan nilai tegangan dan frekuensi dapat diatur. Fungsi inverter adalah untuk merubah kecepatan motor induksi dengan cara merubah frekuensi inputnya seperti (rumus 2.1) di bawah ini:

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

Dimana: n = Putaran per menit

f = Frekuensi (Hertz)

p = Jumlah kutub

Variable Speed Drive merupakan alat untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan cara mengubah frekuensi listrik sesuai dengan kecepatan motor yang diatur, Sebuah *Variable Speed Drive* (VSD) adalah suatu sistem untuk mengendalikan kecepatan rotasi motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan mengendalikan frekuensi listrik yang diberikan ke motor. VSD juga dikenal sebagai *Adjustable Frekuensi Drive* (AFD), *Variable Frequency Drive* (VFD), *AC Drive*, *Microdrives* atau *Inverter Drive*.

Pada dasarnya VSD merupakan sebuah alat yang merubah tegangan bolak-balik dari tegangan searah dengan cara pembentukan gelombang. Namun gelombang tegangan yang terbentuk dari inverter tidak berbentuk sinusoida melainkan berbentuk gelombang dengan bentuk 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 AC frekuensi 1 Hz

2.2.1 Spesifikasi Variable Speed Drive

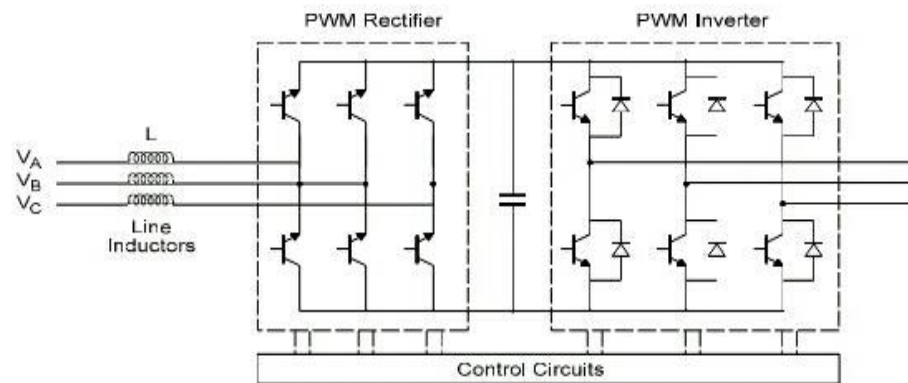
Pada skripsi ini VSD yang digunakan Micromaster 440 produk Siemens. Inverter ini menggunakan sumber tegangan 3 fasa sebesar 380 -400 volt dengan frekuensi 50 Hz, yang kemudian diubah menjadi tegangan AC 3 fasa dan menghasilkan frekuensi dan tegangan yang variabel dimana frekuensi keluarannya mulai dari 5 sampai 50 Hz sedangkan kapasitas dayanya ialah sebesar 0,12 kW - 250 kW. Dimensi inverter ini 326 x 1400 x 356 mm dan mampu bekerja pada suhu antara -10° C sampai 150° C. Interface VSD berupa keypad.



Gambar 2.1 Panel VSD MM440

2.2.2 Struktur Variable Speed Drive

Struktur VSD memperlihatkan 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 phasa 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 VSD.



Gambar 2.2 Sirkuit Inverter VSD

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:

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

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 AC tegangan input kemotor juga dapat diubah-ubah, prinsip kerja yang sederhana :

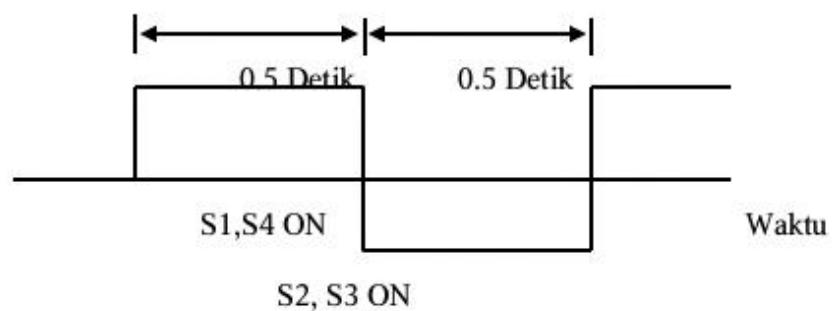
1. Tegangan yang masuk dari jala-jala 50 Hz dialirkan ke board Rectifier/ penyearah DC, dan ditampung ke bank capacitor. Dari AC dijadikan DC.
2. Tegangan DC kemudiandiumpankankeboard inverter untuk dijadikan AC kembalidengan frekuensisesuai kebutuhan. Jadi dari DC ke AC yang komponen utamanyaadalah semikonduktor aktif seperti IGBT. Dengan menggunakan frekuensi carrier (bisa sampai 20 kHz), tegangan DC dicacahdan dimodulasisehingga keluar tegangandan frekuensi yang diinginkan.

Struktur Sirkuit Inverter 3 Phasa, Enam transistor menggantikan fungsi enam saklar pada sirkuit, yang dihubungkan ke motor tiga phasa. Transistor dihidup-matikan berselang-seling untuk menjalankan motor dengan mengganti urutan mati hidupnya transistor dan arah perputaran motor juga dapat berbalik. 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 akan berhenti.

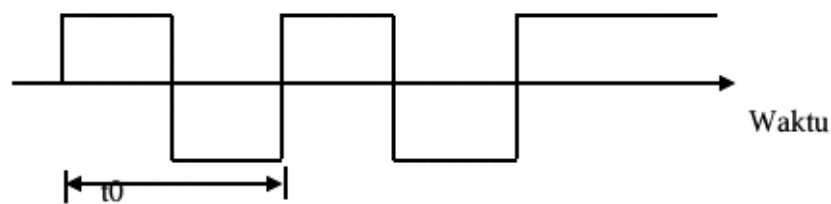
Berbagai metode untuk mengubah tegangan DC ke AC. Seperti dijelaskan dalam karakteristik motor yang dijalankan dengan inverter, tegangan harus disesuaikan dengan pola V/f untuk menjalankan sebuah motor standar dengan

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 2.3 Bentuk Gelombang AC 1 Hz



Gambar 2.4 Jumlah Frekuensi

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

2.2.3 Inverter Tiga Phasa

Pada dasarnya prinsip kerja inverter tiga phasa sama dengan inverter satu phasa. 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. 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 (VRO, VSO, VTO) dan tegangan output (VRS, VST, VTR) 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 :

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

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

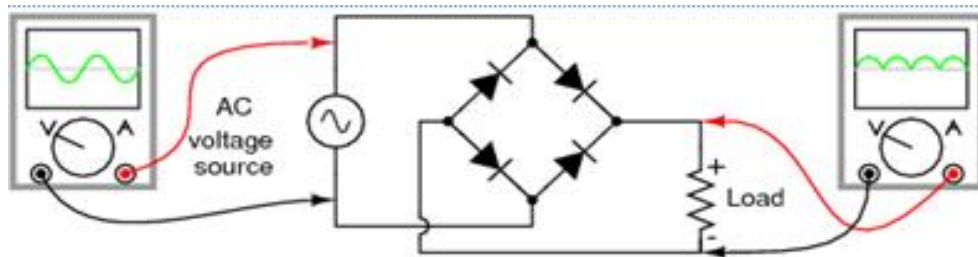
$$VTN = 3/3 VTO - 1/3 VSO - 1/3 VRO$$

2.2.4 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.

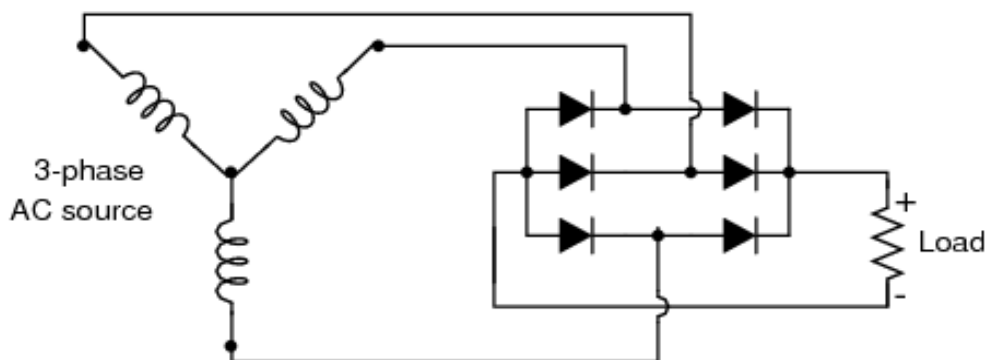
Dan jika kita ingin menyearahkan listrik AC untuk mendapatkan penggunaan penuh kedua setengah siklus dari gelombang sinus. Maka konfigurasi penyearah yang berbeda harus digunakan. Dan sirkuit seperti ini disebut penyearah gelombang penuh. Dan dalam penyearah gelombang penuh ini digunakan transformator CT (Center Tapped) dan 2 buah dioda.

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 2.5 Penyearah gelombang penuh dengan jembatan wheatstone

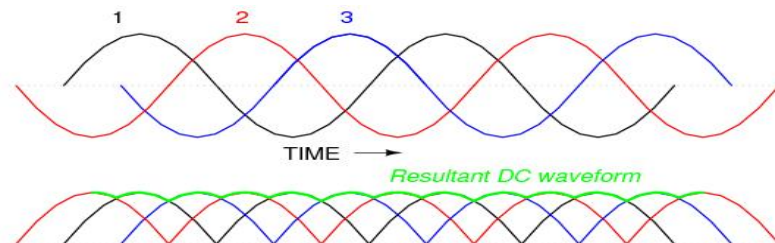
Salah satu keuntungan dalam mengingat tata letak penyearah yang seperti diatas ini adalah hal tersebut bisa dikembangkan dengan lebih mudah ke dalam versi polyphase (fasa yang lebih dari satu), seperti versi rangkaian penyearah gelombang penuh 3 fasa berikut ini.



Gambar 2.6 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.



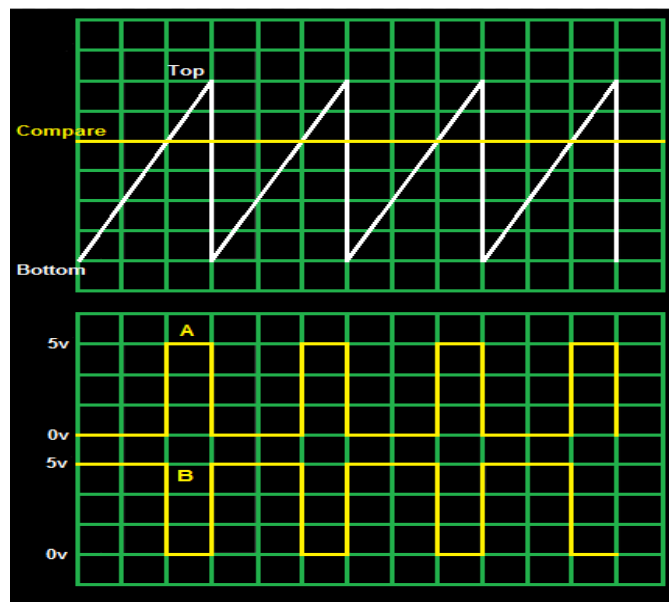
Gambar 2.7 Gelombang AC 3 fasa keluaran penyearah gelombang penuh

Dalam setiap kasus penyearah, baik itu penyearah satu fasa (*single phase*) ataupun lebih (*poly phase*), 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 penyaringan atau filter. Dan filter yang digunakan pada umumnya adalah filter pasif LC.

2.2.5 Pengendalian Tegangan Variable Speed Drive

Dalam aplikasi yang sering digunakan didunia 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 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 motor dan inverter menjadi lebih besar, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya arus lebih. Untuk kondisi seperti ini pemilihan penghantar kebocoran arus ke Bumi atau pentanahan harus dilakukan dengan benar.



Gambar 2.8 Pembentukan Gelombang AC dengan Teknik PWM

2.3 Prinsip Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan VSD

Pengaturan putaran motor induksi 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 keresistor 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 VSD ini digunakan untuk merubah tegangan 24 VDC keluaran dari boost konverter menjadi tegangan AC 380/400 Volt dengan frekuensi yang bisa diatur-atur (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 VSD. Untuk melakukan pengaturan frekuensi mari kita tinjau pada tabel 2.2 yang akan menjelaskan parameter-parameter untuk mengatur putaran motor induksi tiga fasa

Tabel 2.2 Parameter Pengoperasian VSD

Parameter	Description	Limestone Crusher
P0003	User acces level	3
P0004	Parameter Filter	0

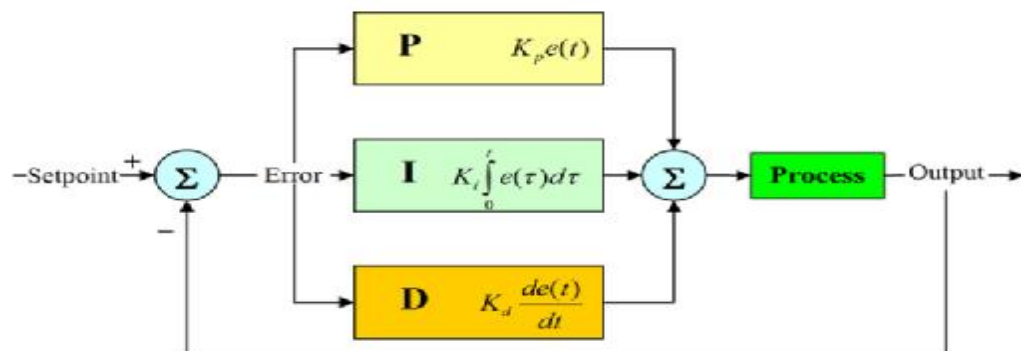
P0010	Commisioning parameter	0
P0100	Enter line frequency	0
P0300	Select type of motor	1
P0304	Motor rated voltage	380
P0305	Motor rated current	139,7
P0307	Rated motor power	75
P0308	Rated motor power factor	0,76
P0310	Rated motor frequency	50 Hz
P0311	Rated motor speed	1470
P0320	Motor magnetizing current	0
P0640	Motor overload factor	150 %
P0700	Selection of command source	2
P0701	Digital input	1
P0731	Digital output running	52,2
P0732	Digital output available	52,3
P0918	Profibus address	3
P1000	Selection of frequency set point	6
P1070	Main setpoint connector input	2050,1
P1080	Min frequency	5 Hz
P1082	Max frequency	50 Hz
P1120	Ramp up time	10 sec
P1121	Ramp down time	10 sec
P1135	Off 3 ramp down time	5 sec
P1300	Control mode (V,F linear characteristic)	0
P1500	Selection of torque setpoint	0

P1910	Select motor data identification	0
P1960	Speed controller optimization	0
P2051	Process data actual value to communication board	52

Dari tabel di atas diketahui bahwa VSD bekerja pada frekuensi 5 – 50 Hz dan kecepatan putaran maksimal 1470 rpm.

2.3.1 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.



Gambar 2.9 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 settling time.

b. Kontrol Integratif

Jika $G(s)$ adalah kontrol I maka u dapat dinyatakan sebagai $u(t) = \int e(t) dt \cdot K_i$ dengan K_i adalah konstanta Integral, dan dari persamaan di atas, $G(s)$ dapat dinyatakan sebagai $u = K_i \cdot \frac{\Delta e}{\Delta t}$ 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

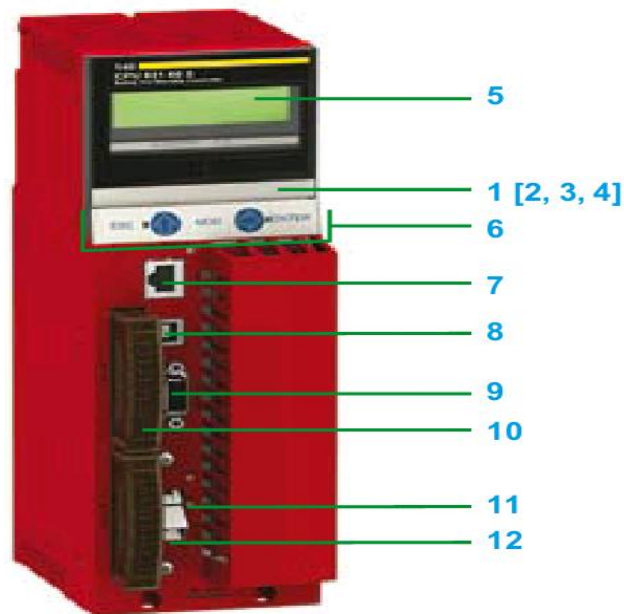
Sinyal kontrol u yang dihasilkan oleh kontrol D dapat dinyatakan sebagai $G(s) = s \cdot K_d$ Dari persamaan di atas, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini

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 VSD maka akan dijelaskan dengan rumus yang sederhana seperti di bawah ini:

$$\eta_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{OUTPUT}}}{P_{\text{INPUT}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Penggunaan VSD dapat mengatur kecepatan putaran motor secara lebih baik. Penggunaan VSD juga mengurangi konsumsi daya. Pengaturan putaran motor pada VSD 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.



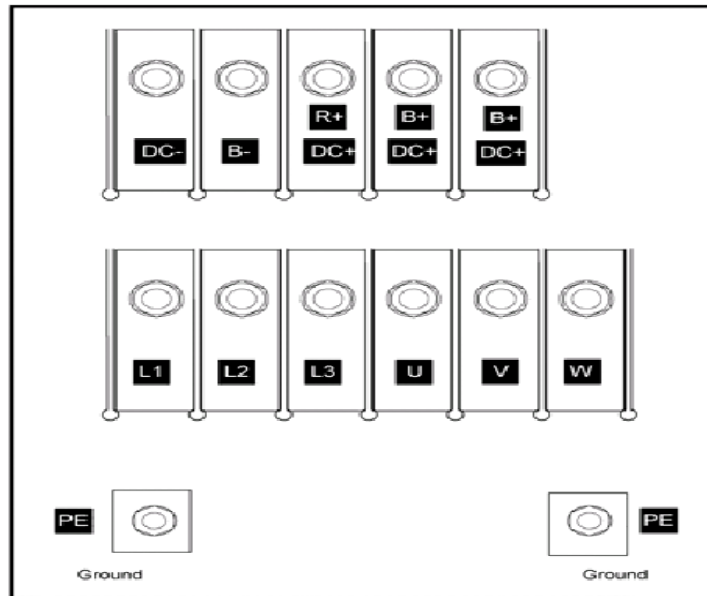
Gambar 2.10 PLC Modicon Quantum 140 CPU 651 60S

Deskripsi:

1. Penutup layar LCD, menyediakan akses ke:
2. Sebuah saklar kunci:
 - a. Tidak terkunci: semua system operasi tersedia dan semua parameter modul yang dapat diubah bisa dimodifikasi oleh operator melalui LCD dan keypad, perlindungan memori tidak hidup.
 - b. Terkunci: tidak ada system operasi yang tersedia dan semua parameter modul yang dapat diubah hanya bisa dibaca, perlindungan memori hidup.
3. Satu slot baterai cadangan..
4. Satu tombol pengaturan ulang (Restart).
5. Sebuah layar LCD (2 baris 16 karakter) dengan control kecerahan dan kontras.
6. Keypad 5 tombol dengan 2 LED (*ESC*, *ENTER*, *MOD*, *Z*, *C*).
7. Konektor RJ45 untuk menghubungkan ke Modbus.

8. Sebuah penghubung USB tipe B betina connector untuk menghubungkan terminal PC pemograman.
9. Sebuah konektor SUB-D betina 9 cara untuk hubungan ke jaringan Modbus plus.
10. Sebuah slot untuk kartu memori ekstensi PCMCIA memori (slot A).
11. 2 LED
 - a. COM LED (hijau): aktivitas pada tombol Ethernet (model 140 CPU 651 60S), aktifitas pada tombol primer Hot Standby atau yang berlebihan (model 140 CPU 671 60S)
 - b. ERR LED (merah): Pertemuan frame Ethernet (model 140 CPU 651 60S), kesalahan komunikasi antara tombol primer Hot Standby atau yang berlebihan (model 140 CPU 671 60S)
12. Sebuah penghubung:
 - a. RJ45 untuk hubungan ke jaringan Ethernet (model 140 CPU 651 60S)
 - b. One MT-RJ konektor serat optic, untuk interkoneksi PLC primer dan berlebihan pada kerangka Hot Standby (model 140 CPU 671 60S)

VSDMicromaster 440 Series memiliki terminal input untuk dikendalikan oleh PLC.



Gambar 2.11 Terminal pada VSD

Terminal pada VSD berfungsi sebagai tempat berhentinya arus listrik sementara, yang akan dihubungkan ke komponen lain.

2.4 Motor Induksi Tiga Fasa (Rotor Sangkar)

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator.

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ($n_s = 120f/2p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan hukum lenz. Rotorpun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban akan memperbesar kopel motor,

yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotorpun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun.

Motor asinkron dengan daya yang cukup besar apabila dilakukan start maka arus yang diambil dari sumber cukup besar, berkisar 3-4 kali lipat arus nominal, sehingga akan menimbulkan tegangan jatuh sesaat pada sumber tegangan yang besarnya tergantung pada impedansi sumber. Apabila sumber tegangan dihubungkan dengan peralatan beban yang lain maka adanya jatuh tegangan sesaat itu akan mengganggu dan mengurangi arus start yang cukup besar biasanya dilakukan dengan menggunakan tahanan atau reaktansi dengan mengubah hubungan Y ke Δ .

Pengaturan arah putaran pada motor asinkron tiga fasa dilakukan dengan mengubah arah putaran medan putar. Perubahan arah medan putar biasanya dilakukan dengan mengubah urutan fasa yang masuk ke motor asinkron dengan menggunakan saklar manual atau kontaktor.

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 asinkron (motor induksi) banyak digunakan pada industri sebagai penggerak.

Keuntungan motor asinkron :

- Konstruksinya sederhana tetapi kuat (terutama rotor sangkar)
- Efisiensinya 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.

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

2.4.1 Hukum Dasar Motor Induksi

Hukum dasar pertama yang ini

dasari 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.

$$e = \int F' \cdot dl = - \frac{d}{dt} (\int B \cdot ds) = - N \frac{d\mathbf{f}}{dt} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

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

dl =Elemen panjang (m).

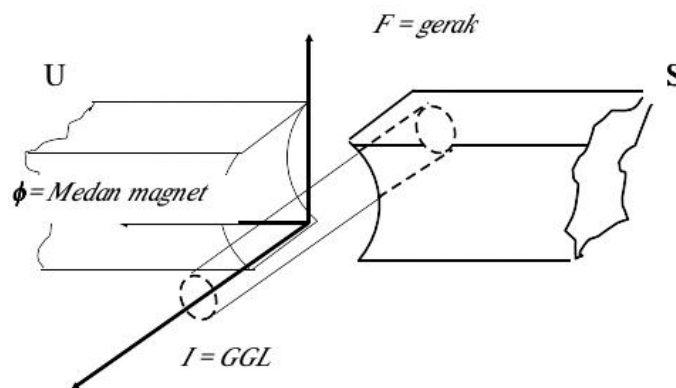
dt =Elemen waktu (sec)

ds =Elemen luas (m^2)

B =Kerapatan fluks magnetik (wb/ m^2)

B. Hukum Lentz

Hukum Lentz 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 2.12 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.

$$I = \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

H = Intensitas medan magnet (H/m)

dl = Elemen panjang (m).

ds = Elemen luas (m^2)

jadi : $I = s.ds$

2.4.2 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 :

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

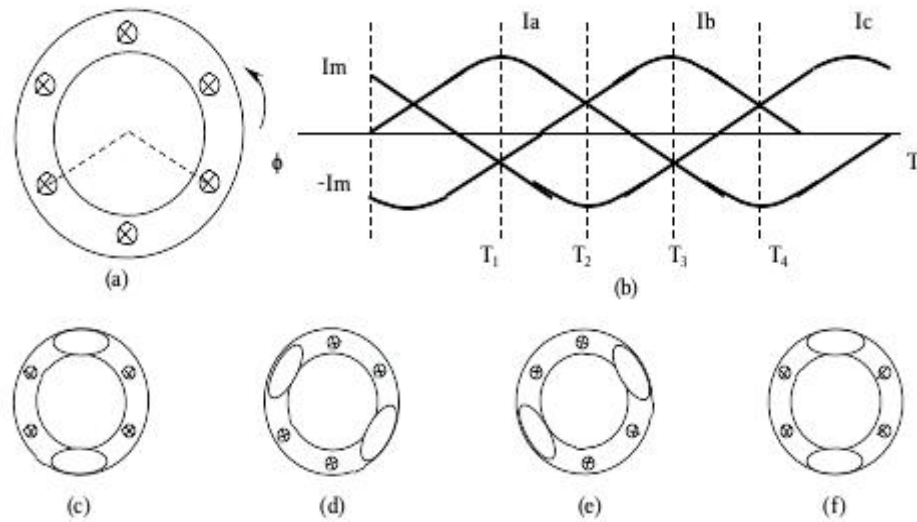
9. Bila $n_s = n_r$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan jangkar rotor dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan timbul apabila $n_r < n_s$.

10. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

2.4.3 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 resultannya berlawanan arah dengan fluksi yang dihasilkan oleh t_1 .



Gambar 2.13 Proses Terjadinya Medan Putar

2.4.4 Slip

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

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

Pada rotor berlaku hubungan :

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

karena $S = \frac{N_s - N_r}{N_s}$ dan $F_1 = \frac{P \cdot N_s}{120}$ (2.8)

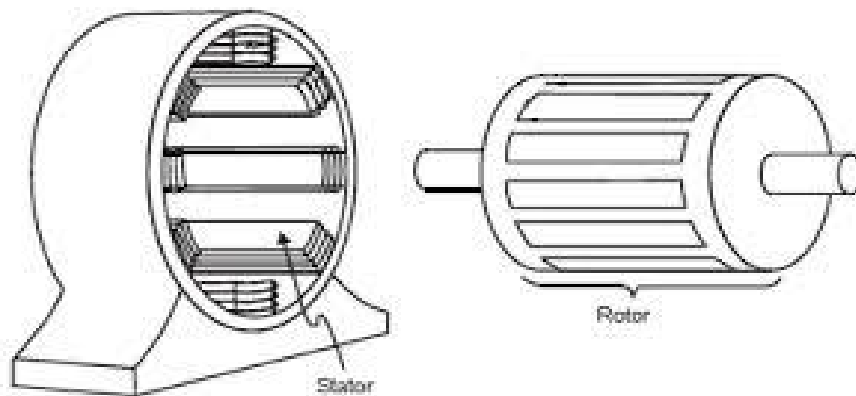
maka : $F_2 = F_1 \cdot S$

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.

2.4.5 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 2.14) Antara bagian stator dan rotor dipisahkan oleh celah udara yang sempit, dengan jarak berkisar dari 0,4 mm sampai 4 mm.

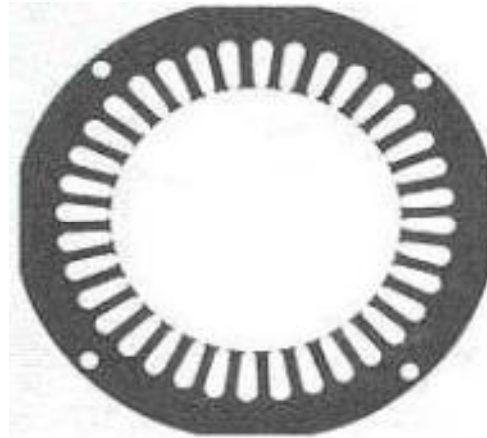


Gambar 2.14 Penampang Stator dan Rotor Motor Induksi Tiga Fasa

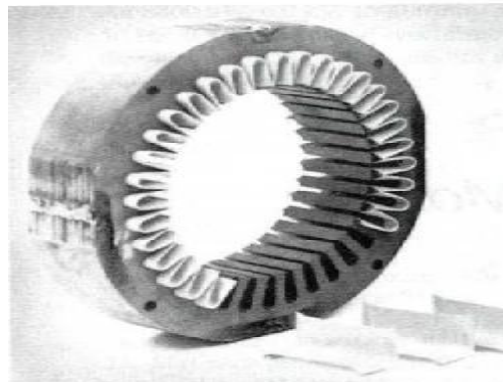
A. Stator

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 2.15). Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lempengan besi (Gambar 2.16). 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 dilapis dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (Gambar 2.21 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 2.15 Lempengan Inti



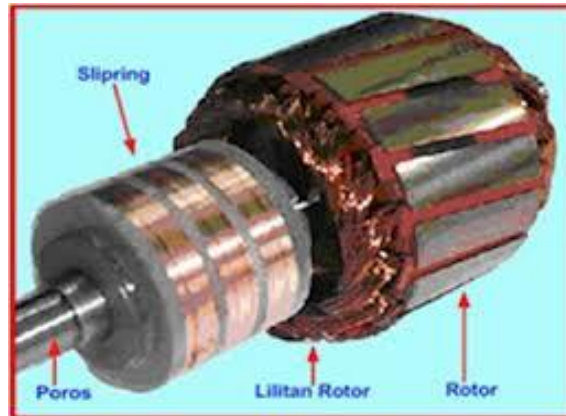
Gambar 2.16 Inti dengan Kertas Isolasi pada beberapa alurnya



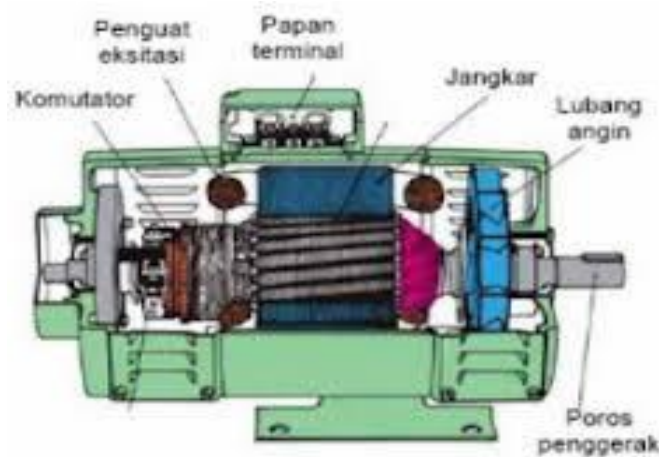
Gambar 2.17 Inti dan Kumparan dalam Cangkang Stator

B. Rotor

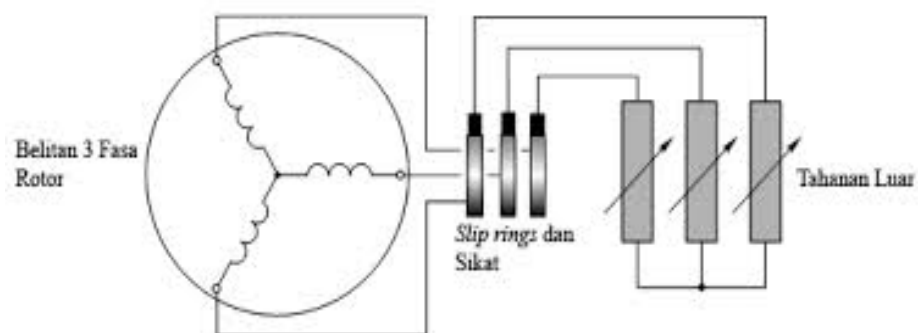
Berdasarkan jenis rotornya, motor induksi tiga fasa dapat dibedakan menjadi dua jenis, yang juga akan menjadi penamaan untuk motor tersebut, yaitu rotor belitan (*wound rotor*) dan rotor sangkar tupai (*squirrel cage rotor*). Jenis rotor belitan terdiri dari satu set lengkap belitan tiga fasa yang merupakan bayangan dari belitan pada statornya. 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 2.18). Belitan-belitan rotor ini kemudian dihubungkan singkatkan melalui sikat (*brush*) yang menempel pada slip ring (perhatikan gambar 2.19). dengan menggunakan sebuah perpanjangan kawat untuk tahanan luar.



Gambar 2.18 Tampilan Close-Up Bagian Slip Ring Rotor Belitan



Gambar 2.19 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan



Gambar 2.20 Skematik Diagram Motor Induksi Rotor Belitan

Dari gambar 2.20 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 2.21). 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. Rotor yang terdiri dari sederetan batang-batang konduktor yang terletak pada alur-alur sekitar permukaan rotor, ujung-ujungnya dihubung singkat dengan menggunakan cincin hubung singkat (*shorting ring*) atau disebut juga dengan *end ring*.

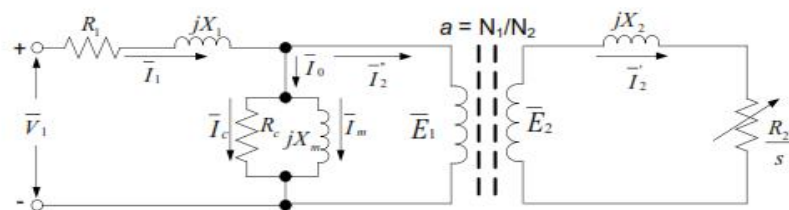


Gambar 2.21 Rotor Sangkar Tupai dan Bagian-bagiannya



Gambar 2.22 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai

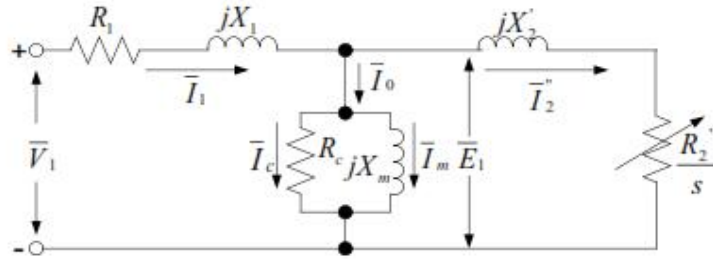
2.4.6 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi



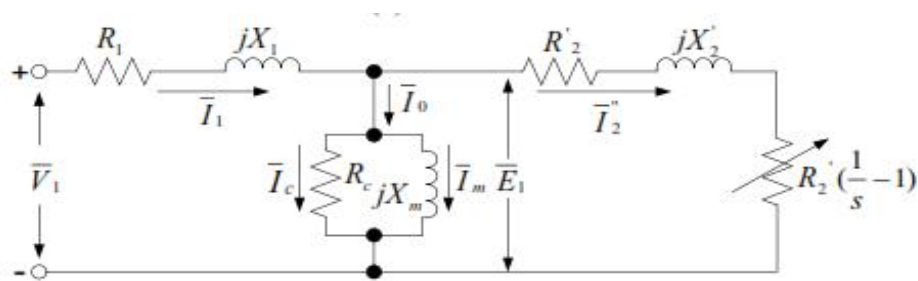
Gambar 2.23 Rangkaian Ekivalen Per-Fasa Motor Induksi Model Transformator

Untuk menghasilkan rangkaian ekivalen per-fasa akhir dari motor induksi, penting untuk menyatakan bagian rotor dari model rangkaian ekivalen gambar 2.27 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



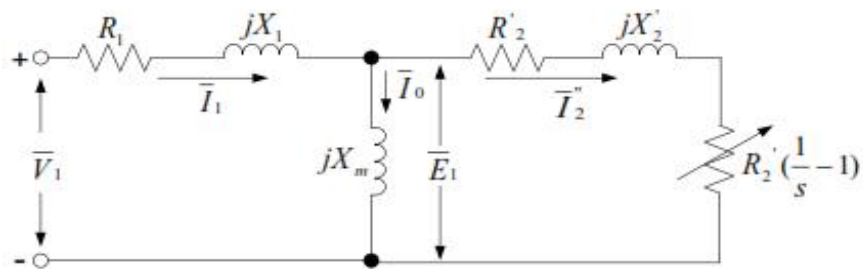
Gambar 2.24 Rangkaian Ekivalen dengan tahanan variabel $\frac{R_2}{s}$



Gambar 2.25 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 2.24. Akan tetapi, untuk menentukan daya poros atau torsi poros, rugi inti yang konstan harus diikutsertakan dalam pertimbangan, bersama dengan gesekan, rugi-rugi beban buta (*stray-load losses*) dan angin. Dengan penyederhanaan ini, maka dapat digambarkan rangkaian ekivalen baru (gambar 2.26) dengan akurasi rugi yang dapat diabaikan.



Gambar 2.26 Rangkaian Ekivalen per-Fasa Motor Induksi dengan Mengabaikan Rugi Inti

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pengambilan data Inverter Variable Speed Drive dan Motor Induksi 3 fasa (Motor for Apron Conveyor), pada tanggal 31 Juli sampai dengan 12 Agustus 2017 bertempat di PT. Lafarge Cement Indonesia, Kab. Aceh Besar, Prov. Aceh, Indonesia.

3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian:

1. Laptop
2. Alat Tulis
3. Kamera
4. Pembaca RPM Motor
5. Multimeter untuk mengukur parameter VSD
6. Motor Induksi 3 fasa (*75 kW, 1500 rpm, rotor sangkar*).
7. Variable Speed Drive *0,12 kW – 250 kW (50 – 60 Hz)*

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 fasa akan berubah-ubah:

1. Variabel Kecepatan Putaran motor induksi 3 fasa.

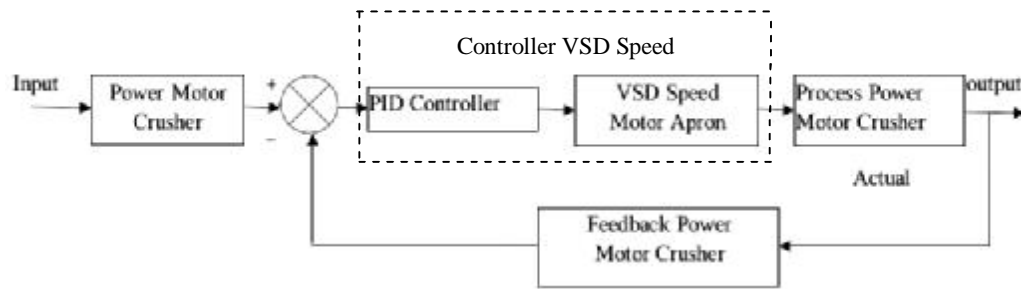
2. VariabelTegangan VSD.
3. Variabel perubahan frekuensiVSD.
4. Konverter dan Inverter.
5. Pengaturan Frekuensi untuk perubahan putaran motor Induksi denganKontrol PID.

3.4 Jalannya Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat yang akan digunakan bersumber dari Electrical Departemen PT. Lafarge Cement Indonesia, Kab. Aceh Besar, Prov. Aceh, Indonesia.
- b. Mengukur tegangan, frekuensi, dan arus pada Panel Motor for Apron Conveyor.
- c. Menganalisis pengaruh frekuensi terhadap kecepatan putaran dari data yang sudah didapat dari hasil pengukuran.
- d. Studi Diagram Proses pengaturan frekuensi pada Inverter Variable Speed Drive, melakukan pengecekan parameter pada Inverter dari hasil yang diperoleh kemudian dikaitkan hasil ini terhadap pengaruh putaran motor induksi (*Motor For Apron Conveyor*).
- e. Menyajikan hasil penyajian dalam bentuk tabel, data perhitungan dan grafik sebagai bahan hasil penelitian.
- f. Menyimpulkan bagaimana Inverter Variable Speed Drive dapat mengatur frekuensi secara otomatis sehingga dapat merubah putaran motor induksi.

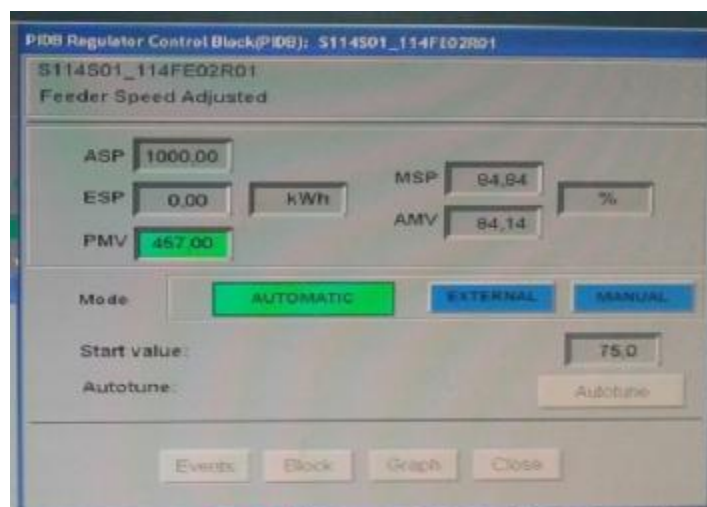
3.5 Blok Diagram Proses Pengontrolan Motor



Gambar 3.1 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.

3.6 Tampilan Kerja Mesin Crusher



Gambar 3.2 Tampilan Kerja 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.

3.7 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, analisa yang digunakan adalah analisa deskriptif persentase. Adapun analisis yang akan dilakukan adalah *Analisis Perubahan Frekuensi Terhadap Kecepatan Motor Induksi* dan *Analisis Effisiensi Motor Terhadap Kecepatan Motor Induksi*.

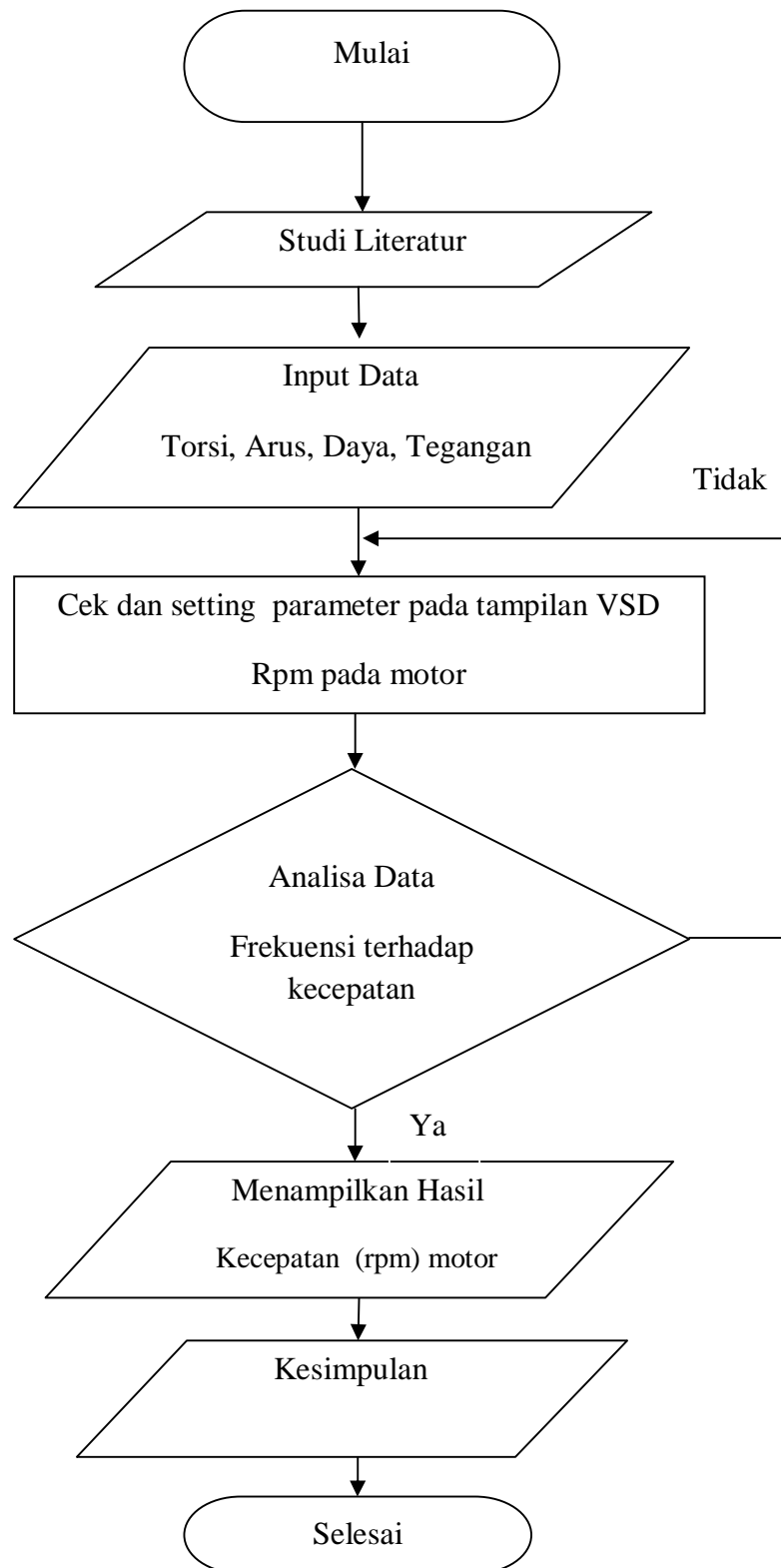
3.7.1 Analisis Perubahan Frekuensi Motor Induksi

Apabila motor Induksi 3 phasa berputar maka perubahan antara putaran dan frekuensi dapat dinyatakan dengan (rumus 2.1)

3.7.2 Analisis Effisiensi Motor Terhadap Penggunaan VSD

Menghitung Effisiensi motor terhadap penggunaan VSD untuk mengetahui efisiensi motor maka akan dijelaskan dengan rumus yang sederhana seperti pada (rumus 2.4)

Prosedur penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 *flowchart* Penelitian

BAB IV

ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

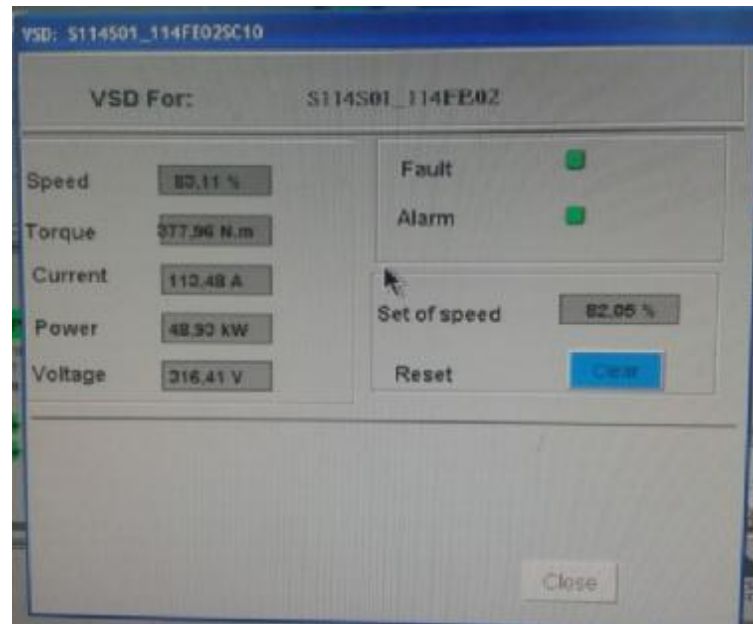
4.1 Pengaruh Frekuensi Dan Tegangan Terhadap Kecepatan Putaran Motor

Penelitian ini diaplikasikan pada kasus, dimana objek kasus adalah mengatur putaran motor induksi tiga fasa secara otomatis menggunakan kontrol PID (Proportional Integrate Derivatif) melalui VSD (Variable Speed Drive) dengan perubahan frekuensi secara otomatis tergantung kebutuhan, dimulai sejak tanggal 31 juli– 12 agustus bertempat di PT. Lafarge Cement Indonesia, Lhoknga, Aceh Besar, Povinsi Aceh, Indonesia.

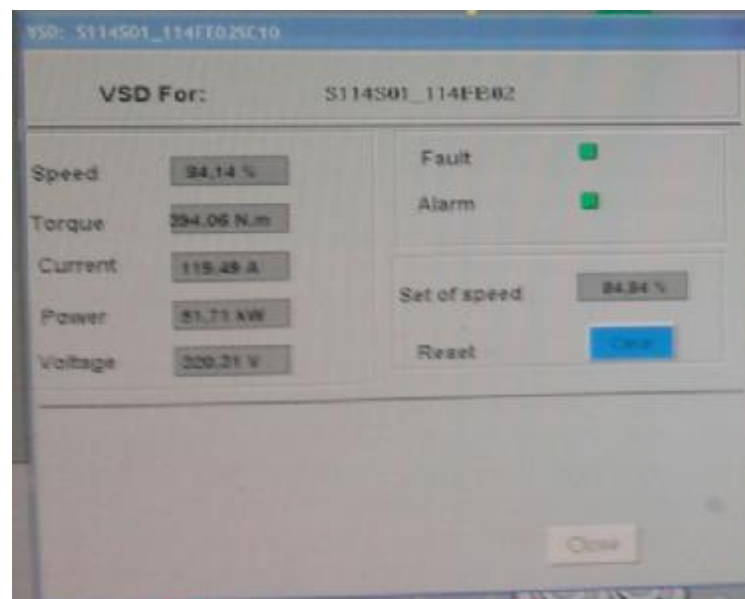
Pengontrolan kecepatan motor induksi bisa dilakukan dengan metode Control Proportional Integrate Derivatif dimana parameter yang digunakan ialah untuk mengatur frekuensi secara otomatis sehingga terjadi perubahan putaran yang berbeda-beda disebabkan dengan (rumus 2.1)

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

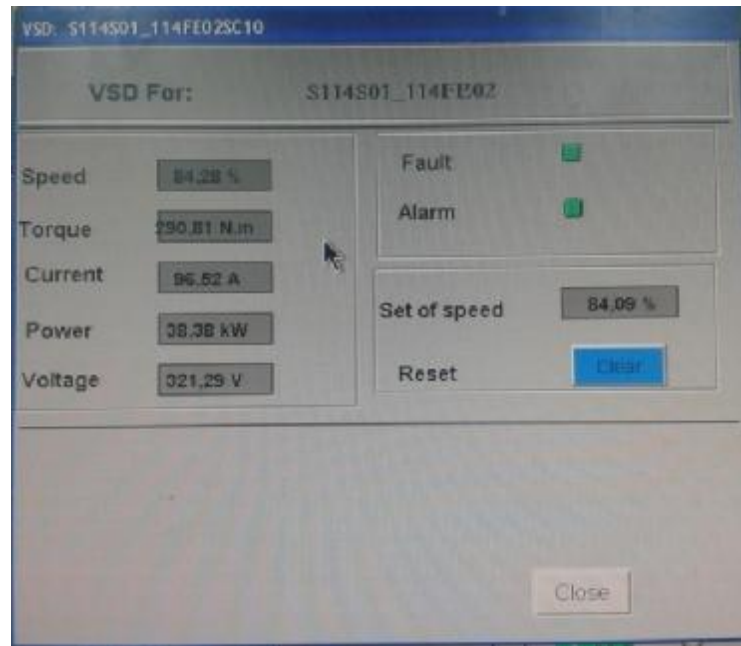
Data-data yang diperoleh dari VSD dan Motor Induksi tiga fasa di PT. Lafarge Cement Indonesia adalah sebagai berikut:



(a) Kerja VSD Pada Tampilan DCS Kondisi 1



(b) Kerja VSD Pada Tampilan DCS Kondisi 2



(c) Kerja VSD Pada Tampilan DCS Kondisi 3

Gambar 4.1 Kerja VSD Pada Tampilan DCS

- Kerja VSD pada tampilan DCS kondisi 1
- Kerja VSD pada tampilan DCS kondisi 2
- Kerja VSD pada tampilan DCS kondisi 3

Dari gambar diatas (data riset) perbandingan antara V terhadap rpm dan $frekuensi$ maka didapatkan hasil pengaturan putaran motor induksi dengan menggunakan VSD.

4.1.1 Analisa Perhitungan Torque Terhadap Kecepatan Putaran

Kondisi 1

Torque (Nm)	Current (A)	Power (kW)
377,96	113,48	48,93

$$P = \frac{T \times W \times 2\pi}{60000}$$

$$48,93 = \frac{377,96 \times W \times 2\pi}{60000}$$

$$48,93 = \frac{377,96 \times W \times 2(3,14)}{60000}$$

$$48,93 = \frac{2737,589 \times W}{60000}$$

$$48,93 = 0,03956 \times W$$

$$48,93 = \frac{48,93}{0,03956} = 1236 \text{ Rpm}$$

Sehingga dapat diketahui frekuensi motor :

$$n = \frac{120 \times f}{P}$$

$$1236 = \frac{120 \times f}{4}$$

$$1236 = 30 \times f$$

$$f = \frac{1236}{30} = 41,22 \text{ Hz}$$

Kondisi 2

Torque (Nm)	Current (A)	Power (kW)
394,06	119,49	51,71

$$P = \frac{T \times W \times 2\pi}{60000}, P = 51,71 \text{ kW} = 394,06$$

$$51,71 = \frac{394,06 \times W \times 2(3,14)}{60000}$$

$$51,71 = \frac{2474,697 \times W}{60000}$$

$$51,71 = 0,0412 \times W$$

$$W = \frac{51,71}{0,0412} = 1255,097 \text{ Rpm}$$

Sehingga dapat diketahui frekuensi motor :

$$n = \frac{120 \times f}{P}$$

$$1255,097 = \frac{120 \times f}{4}$$

$$f = \frac{1255,097}{30} = 41,83 \text{ Hz}$$

Kondisi 3

Torque (Nm)	Current (A)	Power (kW)
290,81	96,52	38,38

$$P = \frac{T \times W \times 2\pi}{60000}$$

$$38,38 = \frac{290,81 \times W \times 2(3,14)}{60000}$$

$$38,38 = \frac{1826,27 \times W}{60000}$$

$$38,38 = 0,0304 \times W$$

$$W = \frac{38,38}{0,0304} = 1262,5 \text{ Rpm}$$

Sehingga dapat diketahui frekuensi motor :

$$n = \frac{120 \times f}{P}$$

$$1262,5 = \frac{120 \times f}{4}$$

$$f = \frac{1262,5}{30} = 42,08 \text{ Hz}$$

4.1.2 Analisis Efisiensi Motor Terhadap Penggunaan VSD

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

$$a) \eta_{motor1} = \frac{48,93}{75} \times 100\% = 65,24 \%$$

$$b) \eta_{motor2} = \frac{51,71}{75} \times 100\% = 68,94 \%$$

$$c) \eta_{motor3} = \frac{38,38}{75} \times 100\% = 51,17 \%$$

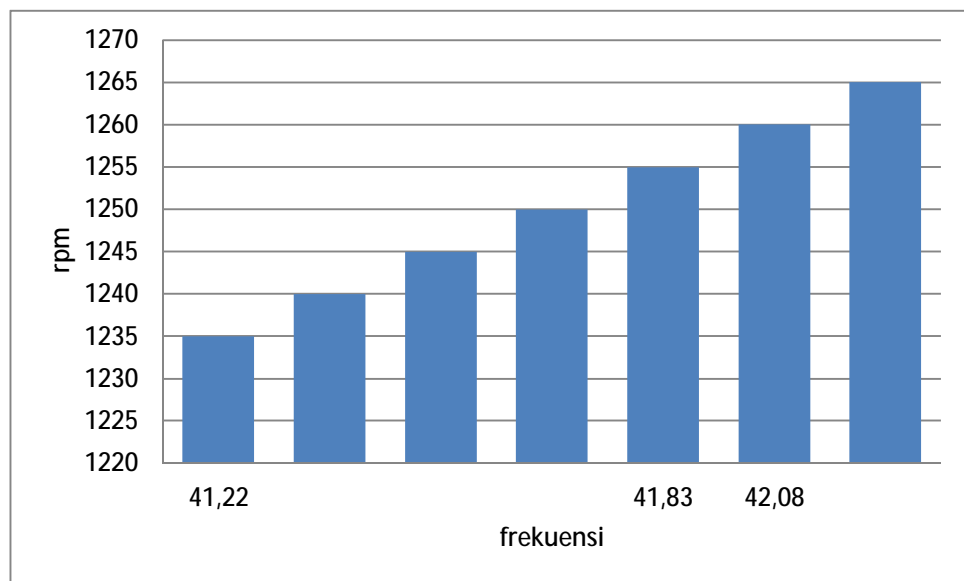
$$\eta_{rata-rata} = \frac{\eta_{motor1} + \eta_{motor2} + \eta_{motor3}}{3}$$

$$= \frac{65,24 + 68,94 + 51,17}{3} = 61,78$$

Tabel 4.1 Tegangan, Frekuensi dan RPM Terukur

No.	Frekuensi (Hz)	Rpm	Voltage
1	41.22	123.6	316,41
2	41.83	125.5	320,21
3	42.08	122.6	321,24

4.2 Grafik Frekuensi Terhadap Kecepatan



Gambar 4.2 Grafik Frekuensi Terhadap Kecepatan

Berdasarkan perhitungan dari data riset di atas :

- a) Ketika tegangan diberi *316,41 Volt* maka Frekuensi output yang dihasilkan adalah sebesar *41.22 Hz* dan putaran yang terbaca oleh sensor sebesar *123.6 rpm*.
- b) Ketika tegangan diberi *320,2 Volt* maka Frekuensi output yang dihasilkan adalah sebesar *41,83 Hz* dan putaran yang terbaca oleh sensor sebesar *125.5 rpm*.
- c) Ketika tegangan diberi *321,29 Volt* maka Frekuensi output yang dihasilkan adalah sebesar *42.08 Hz* dan putaran yang terbaca oleh sensor sebesar *126,2 rpm*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan.

Dari hasil perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. a. Ketika tegangan diberi 316,41 Volt maka frekuensi output yang dihasilkan adalah sebesar 41.22 Hz dan putaran yang terbaca oleh sensor sebesar 123.6 rpm.
 - b. Ketika tegangan diberi 320,2 Volt maka frekuensi output yang dihasilkan adalah sebesar 41,83 Hz dan putaran yang terbaca oleh sensor sebesar 125.5 rpm.
 - c. Ketika tegangan diberi 321,29 Volt maka frekuensi output yang dihasilkan adalah sebesar 42.08 Hz dan putaran yang terbaca oleh sensor sebesar 126,2 rpm.
2. Berdasarkan grafik frekuensi terhadap kecepatan motor, terlihat bahwa pada setiap terjadi kenaikan frekuensi masukan maka kecepatan putar motor induksi pun akan semakin cepat. Hal ini dikarenakan frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan motor.

5.2 Saran

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

1. VSD ini dapat dikembangkan dengan menambah filter harmonisa pada sisi outputnya.
2. Dalam perencanaan sistem haruslah tahan terhadap berbagai kondisi, karena ketika sistem dalam berbagai kondisi maka sistem yang diintegrasikan akan terjadi banyak gangguan yang tidak diketahui sebelumnya.
3. Menggunakan VSD sudah bisa secara otomatis dalam prosesnya akan tetapi menggunakan PLC dalam pengontrolan VSD akan lebih mudah untuk menggunakan Intruksi Program lebih lanjut (Advanced).

DAFTAR PUSTAKA

- Andi Hartono, Agung Warsito, Mochammad Facta, 2004, "**Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Inverter Sinusoidal Pulse Width Modulation**" Laporan TA Jurusan Teknik Elektro FT Undip.
- A. Sofwan ., Rudie S. Baqo., 2004, **Sistem Pengendali Kecepatan Putaran Motor AC Tiga Fasa Menggunakan Mikrocontroller AT89S825**". Jurnal Penelitian, Fakultas Teknologi Industri Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.
- Barnes, Malcolm, 2006, "**Practical Variable Speed Drives and Power Electronics**", CPEng, BSc (ElecEng), MSEE, Automated Control Systems, Perth, Australia.
- Hari, W,W., Bambang, S., 2004, **Aplikasi Mikrocontroller AT89C51 Sebagai Pembangkit PWM Sinusoida 1 Fasa Untuk Mengendalikan Putaran Motor Sinkron**, Jurnal Penelitian, Universitas Gajah Mada, Jogjakarta.
- Nasution, Syupriadi, 2012 Jurnal Ilmiah Elite Elektro Vol. 3, No. 2 : 139-143, "**Analisis Sistem Kerja Inverter Untuk Mengubah Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Drive Robot**"
- Muhammad H Rashid, 2006, **Elektronika Daya, Rangkaian, Devais dan Aplikasinya**", Edisi Bahasa Indonesia Jilid satu edisi kedua, PT. Prenhallindo, Jakarta.
- Wijaya, Mochtar, 2001, **Dasar-dasar Mesin Listrik**, Penerbit Djambatan, Jakarta,.
- Zuhal, 2002, p.249, **Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya**, Gramedia. Pustaka Utama, Jakarta.
-SIEMENS, Issue 10/06, "**Micromaster 440 Manual Book**", Operating Instruction, 6SE6400-5AW00-0BP0.
-FATEC, 2006, p.211. **Inverter School Text, Inverter Practical Course**, Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, Japan.
-**Variable Speed Drive (VSD)**. "www.scribd.com/doc/170760883/variable-speed-drive-VSD-Aka.(diakses tanggal 25 januari 2016).
-**Proportional Intregate Derivative (PID) controller**, https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller. (diakses pada 25 Januari 2016)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Surat Izin Penelitian Dari PT. Lafarge Cement Indonesia

Lampiran 2 : Foto Gedung PT. Lafarge Cement Indonesia

Lampiran 3 : Diagram Proses VSD