ANALISIS *VARIABLE FREQUENCY DRIVE (VFD)* DALAM SISTEM KONTROL MOTOR TIGA FASA TERHADAP BEBAN BERVARIASI PADA MOTOR *TUBULAR CONVEYOR* 512

TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S1

Pada Program Studi Teknik Elektro

Universitas Islam Sultan Agung

Semarang

Di susun oleh:

NAMA: JATMOKO

NIM : 30602000071

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2025

ANALYSIS OF VARIABLE FREQUENCY DRIVE (VFD) IN THREE-PHASE MOTOR CONTROL SYSTEM FOR VARIABLE LOAD ON TUBULAR CONVEYOR MOTOR 512

A PAPER

Submitted As Requirement For Sarjana Teknik's Degree
In Electrical Engineering Faculty of
Universitas Islam Sultan Agung
Semarang

by:

NAME : JATMOKO

NIM : 30602000071

ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **"Analisis *Variable Frequency Drive* (VFD) Dalam Sistem Kontrol Motor Tiga Fasa Terhadap Beban Bervariasi Pada Motor *Tubular Conveyor* 512 "** ini disusun oleh:

Nama	: Jatmoko
NIM	30602000071
Program Studi	: Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari	: Rabu
Tanggal	: 26 Februari 2025

Pembimbing I

Agus Suprajitno, S.T., M.T
NIDN : 0602047301

Mengetahui,
Ka. Program Studi Teknik Elektro

Jenny Putri Hapsari, ST, MT
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul **"Analisis Variable Frequency Drive (VFD) Dalam Sistem Kontrol Motor Tiga Fasa Terhadap Beban Bervariasi Pada Motor *Tubular Conveyor* 512 "** ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 26 Februari 2025

Tim Penguji	Tanda Tangan
Dr. Eka Nuryanto Budisusila, ST.,MT. **NIDN : 0619107301** **Ketua**	.....
Ir. Budi Pramono Jati, MM., MT. **NIDN : 0623126501** **Penguji I**	.....
Dr. Bustanul Arifin, ST., MT. **NIDN : 0614117701** **Penguji II**	 050325

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Jatmoko

NIM 30602000071

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Program Studi : Teknik Elektro Kelas Mitra

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul: **"ANALISIS *VARIABLE FREQUENCY DRIVE* (VFD) DALAM SISTEM KONTROL MOTOR TIGA FASA TERHADAP BEBAN BERVARIASI PADA MOTOR *TUBULAR CONVEYOR* 512"**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hal bebas Royalti Non_Eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini Saya buat dengan sungguh - sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 23 Januari 2025

Yang Menyatakan

Mahasiswa

Jatmoko

30602000071

PERSEMBAHAN DAN MOTTO

Persembahan :

Pertama,

Tugas Akhir ini akan saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang saya cintai yang sudah membesarkan saya, memberikan dukungan dan menjadi motivasi hidup saya dalam menyelesaikan studi saya hingga saat ini. Dan juga kepada anak dan istri saya yang menjadi penyemangat dan senantiasa mendukung saya dalam menjalani masa perkuliahan.

Kedua,

Untuk Dosen pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan pengarahannya.

Ketiga,

Untuk teman seperjuangan Tugas Akhir dan tidak lupa teman – teman Teknik Elektro UNISSULA yang saling memberikan dukungan.

Motto :

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri (Q.S. Ar-Rad ayat (11))”

“ Pekerja Keras tidak akan pernah merasa kehilangan – Elon Musk”

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Jatmoko
NIM	: 30602000071
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri
Program Studi	: Teknik Elektro Kelas Mitra

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang** dengan judul **"Analisis Variable Frequency Drive (VFD) Dalam Sistem Kontrol Motor Tiga Fasa Terhadap Beban Bervariasi Pada Motor Tubular Conveyor 512 ",** adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 23 Januari 2025

Yang Menyatakan

Mahasiswa

Jatmoko

30602000071

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji bagi Allah S.W.T karena atas rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **"Analisis *Variable Frequency Drive* (VFD) Dalam Sistem Kontrol Motor Tiga Fasa Terhadap Beban Bervariasi Pada Motor *Tubular Conveyor* 512 ",** Sholawat dan salam selalu tercurahan kepada junjungan kita Nabi Agung Muhammad S.A.W. yang senantiasa kita nantikan syafa'atnya di Yaumul Akhir nanti.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak menemui hambatan namun berkat dukungan dan bantuan bimbingan serta kerjasama dari berbagai pihak akhirnya skripsi ini dapat penulis selesaikan dengan baik. Dengan penuh kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., MH selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Terimakasih kepada Dosen Pembimbing saya Bapak Agus Suprajitno S.T.,M.T. yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan bantuannya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Kedua orang tua, Istri dan Anak saya yang selalu memberikan dukungan dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh teman-teman penulis di FTI UNISSULA yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

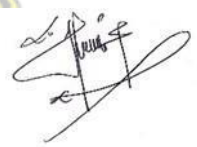
8. Seluruh teman-teman rekan kerja PT Bhumi Jepara Service yang telah memberikan bantuan serta dukungan.
9. Seluruh responden, narasumber dan pihak-pihak lain yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
10. Serta seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam penulisan skripsi ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Tentunya dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan dan kekeliruan, oleh karena itu segala ritik dan saran yang membangun akan sangat membantu dalam menyempurnakan penulisan skripsi ini. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi seluruh instansi terkait, pembaca, maupun civitas akademik. Akhir kata, Terima Kasih

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Semarang, 24 Januari 2025

Mahasiswa,



Jatmoko
3060200071

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH v
PERSEMBAHAN DAN MOTTO vi
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR vii
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
DAFTAR ISTILAH xv
ABSTRAK xvi
ABSTRACT xvii
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.4 Tujuan 4
1.5 Manfaat 4
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II 7
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 7
2.1 Tinjauan Pustaka 7
2.2 Landasan Teori 9
2.2.1 Motor Induksi 9
2.2.2 *Belt Conveyor* 12
2.2.3 *Variable Frequency Drive* (VFD) 15
2.2.4 *Tube Conveyor* 512 (TCVY-512) 21
2.2.5 Perhitungan dan Pengukuran Listrik 22

BAB III 34
METODE PENELITIAN 34
3.1 Jenis Penelitian 34
3.2 Objek Penelitian 34
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian 35
3.4 Variabel dan Sampel Penelitian 36
3.5 Tahapan Penelitian 37
3.6 Prosedur Penelitian 37
3.7 Teknik Analisa Data 39
3.8 Diagram Alir Penelitian 41
BAB IV 42
DATA DAN ANALISA 42
4.1 Pengambilan Data VFD pada Motor TCVY-512 Tanpa Beban 42
4.2 Pengambilan Data VFD pada Motor TCVY-512 dengan Beban Bervariasi 43
4.3 Perhitungan Hasil Pengukuran Uji VFD 43
4.4 Analisa Hasil Pengukuran 51
BAB V 59
PENUTUP 59
5.1 Kesimpulan 59
5.2 Saran 60
DAFTAR PUSTAKA 61
LAMPIRAN 63
LEMBAR REVISI 68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi TCVY-512 A dan TCVY-512 B
Tabel 3.1 Spesifikasi Motor 3 Fasa TCVY-512
Tabel 4.1 Data Motor TCVY-512 Tanpa Beban
Tabel 4.2 Data Motor TCVY-512 dengan Beban Bervariasi
Tabel 4.3 Acuan Perhitungan Spesifikasi Motor TCVY-512
Tabel 4.4 Acuan Pengukuran Daya Tanpa Beban
Tabel 4.5 Acuan Pengukuran Daya dengan Beban Bervariasi
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Daya tanpa Beban
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Daya dengan Beban Bervariasi
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Faktor Daya tanpa Beban
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Faktor Daya dengan beban Bervariasi
Tabel 4.10 Daya Mekanik (P out)
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Rugi Daya tapa Beban
Tabel 4.12 Hail Perhitungan Rugi Daya dengan Beban Bervariasi
Tabel 4.13 Parameter Ukur Efisiensi Tanpa Beban
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Efisiensi Daya tanpa Beban
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Efisiensi Daya dengan Beban Bervariasi
Tabel 4.16 Nilai Torsi dan Arus Motor TCVY-512 pada Beban Bervariasi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Stator dan Rotor

Gambar 2.2 Kontuksi Motor Induksi

Gambar 2.3 Bagian-bagian *Conveyor*

Gambar 2.4 VFD di PLTU Tanjung Jati B 5 dan 6

Gambar 2.5 Diagram Blok VFD

Gambar 2.6 Segitiga Daya

Gambar 2.7 Hubungan Frekuensi terhadap Kecepatan Motor

Gambar 2.8 Hubungan Torsi terhadap Arus Motor Listrik pada Tegangan Konstan

Gambar 2.9 Grafik Kenaikan Torsi terhadap Kecepatan Putaran sesuai Spesifikasi

Gambar 2.10 Grafik Hubungan Frekuensi terhadap Daya pada Beban Konstan

Gambar 2.11 Grafik Hubungan Frekuensi terhadap Efisiensi Motor

Gambar 2.12 Grafik Hubungan Frekuensi terhadap Efisiensi dan Torsi pada Beban Konstan

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 4.1 Hubungan Torsi-Arus terhadap Beban Kerja TCVY-512

Gambar 4.2 Hubungan Daya terhadap Beban Kerja TCVY-512

Gambar 4.3 Hubungan Rugi Daya terhadap Beban Kerja TCVY-512

Gambar 4.4 Hubungan Efisiensi Daya terhadap Kenaikan Beban Kerja TCVY-512

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Grafik Parameter Pengoperasian VFD TCVY-512

Lampiran 2 : Hasil Turn it in dan dokumentasi Kegiatan Pencatatan Penelitian

DAFTAR ISTILAH

TCVY = *Tubular Conveyor*, sistem konveyor dengan sabuk melingkar sebagai penopang beban kerja

Conveyor = Alat pengangkutan Batubara berbentuk sabuk karet yang digerakan menggunakan motor

Flowrate = Laju aliran Batubara dalam ton per jam

VFD = *Variable Frequency Drive*

DCS = *Distributed Control System*

CCR = *Central Control Room*

ABSTRAK

Motor induksi memiliki peranan yang vital sebagai penggerak pada peralatan-peralatan industri. Dengan peranan yang vital ini, kehandalan dan kestabilan motor harus selalu dijaga dengan berbagai upaya seperti salah satunya adalah penggunaan *Variable Frequency Drive (VFD).* Hal ini juga terjadi pada penggunaan VFD sebagai pencatu daya bagi motor induksi 3 fasa pada motor *Tubular Conveyor*-512 alat transportasi batubara yang memiliki beban kerja relatif berat, memerlukan sistem pengendali motor penggerak (motor induksi) yang mampu menjaga kestabilan parameter kinerja motor dalam menopang beban kerja aliran batubara dengan *flowrate* (laju aliran) yang bervariasi sehingga kecepatan putarannya tetap terjaga konstan dengan mengontrol kecepatan dan torsi motor induksi tanpa mengurangi performanya secara keseluruhan

Dengan pendekatan kuantitatif, peneliti melakukan uji pengaruh penggunaan VFD terhadap motor TCVY-512 dengan beban yang bervariasi dan tanpa beban seiring dengan perubahan nilai aliran beban flowrate yang bervariasi berkisar antara 500-1600 ton / jam. Pengujian dilakukan dengan pembacaan, pengukuran, perhitungan, serta analisis beberapa parameter yang meliputi, daya, faktor daya, rugi daya, serta efisiensi motor listrik.

VFD pada motor TCVY-512 terbukti memberikan dampak yang cukup signifikan dalam mengendalikan kestabilan parameter-parameter motor induksi, pengaruh terhadap kesesuaian desain spesifikasi motor, serta pengaruhnya secara keseluruhan terhadap kehandalan performa peralatan TCVY-512. Berdasarkan uji yang dilakukan pada VFD TCVY-512 dapat dipahami bahwa kondisi peralatan masih cukup baik untuk menampung beban kerja *flowrate* sesuai spesifikasi 1700 ton/jam.

Kata kunci: VFD, Motor TCVY 512 , Belt Conveyor

ABSTRACT

Induction motors have a vital role as a drive in industrial equipment. With this vital role, the reliability and stability of the motorcycle must always be maintained with various efforts such as the use of Variable Frequency Drive (VFD). This also happens in the use of VFD as a power supply for a 3-phase induction motor on the Tubular Conveyor-512 motor, a coal transportation tool that has a relatively heavy workload, requires a drive motor control system (induction motor) that is able to maintain the stability of motor performance parameters in supporting the coal flow workload with varying flowrate so that the rotational speed is maintained constant by controlling the speed and torque of the induction motor without compromising its overall performance

Using a quantitative approach, the researcher conducted tests to analyze the impact of VFD usage on the TCVY-512 motor under varying load conditions and no-load conditions, in response to changes in flow rate, which ranged from 500 to 1,600 tons per hour. The testing involved reading, measuring, calculating, and analyzing several parameters, including power, power factor, power losses, and motor efficiency.

The results showed that the VFD on the TCVY-512 motor had a significant impact on maintaining the stability of the induction motor parameters, ensuring compliance with the motor's design specifications, and enhancing the overall reliability of the TCVY-512 equipment. Based on the tests conducted, it was determined that the equipment is still in good condition and capable of handling the workload according to the specified flow rate of 1,700 tons per hour

Keywords: VFD, Motor TCVY 512 , Conveyor Belt

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor Induksi atau biasa dikenal dengan motor listrik merupakan komponen elektronik yang sering digunakan untuk keperluan didunia industri dan rumah tangga. Penggunaan motor induksi dipilih karena konstruksinya yang lebih sederhana, perawatannya yang cenderung murah, ringan dan memeiliki efisiensi yang tinggi [1]. Motor Listrik juga biasa disebut dengan kuda kerja industri sebab penggunaan motor-motor listrik diindustri diperkirakan mencapai 70% dalam menyelesaikan pekerjaan-pekerjaan industry.[2] Dalam skala industri, motor induksi telah digunakan dalam berbagai peralatan dan memegang peranan yang vital dalam peralatan-peralatan utama mesin industri. Salah satunya adalah penggunaan motor induksi dalam *system conveyor* sebagai satu peralatan utama dalam sistem transportasi penanganan batubara terkhusus pada sektor pembangkit listrik, salah satunya yaitu pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Pada peralatan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), penggunaan *conveyor* dengan motor induksi sebagai penggerak utama ini memiliki fungsi yang vital dan tidak tergantikan. Salah satunya yaitu penggunaan motor induksi tiga fasa pada sistem *tubular conveyor* 512 di PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6. *Tubular conveyor* 512 (TCVY-512) merupakan sistem *conveyor* yang menghubungkan *tranfer tower* 458 dan 461 dan merupakan alat transportasi batubara yang memiliki beban kerja relatif berat karena panjangnya yang mencapai 2535 meter. Beban kerja yang relatif besar ini menimbulkan perlunya sistem pengendali motor penggerak (motor induksi) yang mampu menjaga kestabilan parameter kinerja motor induksi tanpa mengurangi performanya secara keseluruhan. Oleh karena itu, *Variable Frequency Drive* (VFD) digunakan dalam sistem pengendali motor induksi 3 fasa pada sistem *tubular conveyor* 512.

Variable Frequency Drive (VFD) adalah sistem pengendali yang terhubung langsung ke motor dan digunakan untuk proses pengaturan nilai frekuensi yang masuk ke motor induksi tiga fasa yang dalam hal ini adalah motor induksi *tubular* conveyor 512. Penggunaan VFD ini bertujuan untuk menjamin kestabilan parameter kinerja motor seperti mengurangi beban arus start, menjaga kestabilan kecepatan dan torsi, serta menjaga efisiensi motor induksi. Penggunaan VFD pada TCVY-512 ini diharapkan mampu menjaga kestabilan performa motor dalam menopang beban kerja aliran batubara dengan *flowrate* (laju aliran) yang bervariasi dengan cara pengaturan kecepatan putaran motor melalui pengaturan frekuensi. Beban kerja yang bervariasi ini secara signifikan berdampak terhadap kinerja motor maupun sistem *conveyor* secara keseluruhan. Oleh karena itu diperlukan suatu metode yang tepat dalam pengaturan VFD sehingga kinerja motor induksi tetap optimal

Dalam praktiknya, kondisi di lapangan menunjukan bahwa TCVY-512 merupakan salah satu conveyor terpanjang di PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6 diharapkan dapat terjaga performanya sesuai dengan spesifikasinya. Perlu adanya sistem perawatan dan inspeksi rutin yang bertujuan untuk memastikan kehandalan peralatan VFD sehingga kendala malfungsi dapat dihindari. Berdasarkan observasi pendahuluan yang dilakukan peneliti, inspeksi yang dilakukan pada VFD ini bersifat rutin setiap dua bulan sekali ketika sistem sedang berjalan (*online*) yaitu berupa kegiatan pembersihan dan memastikan tidak terjadi *fault* pada peralatan VFD. Sedangkan perawatan dan inspeksi yang lebih mayor dalam kondisi peralatan stop (*offline*) dilakukan setiap 6 bulan dan setahun masa pemakaian. Jangka waktu yang cukup panjang serta bentuk kegiatan perawatan yang sederhana dan bersifat preventif ini memiliki kekurangan berupa kurangnya pengukuran terkait parameter-parameter yang berpengaruh pada penggunaan VFD yang lebih lanjut berdampak pada performa motor TCVY-512. Hal ini diperparah dengan kondisi aktual dimana TCVY-512 sering mengalami kendala *trip* karena kondisi *belt conveyor* yang sudah memiliki masa pakai yang lama, dan terdapat banyak sambungan. Dikarenakan hal tersebut, beban kerja yang diharapkan mampu mencapai

flowrate maksimal 1700 ton/jam belum dapat tercapai secara optimal dan beban kerja saat ini lebih bervariatif. Lebih lanjut, untuk mengetahui pengaruh VFD secara mendalam terhadap sistem TCVY-512 terhadap beban kerja yang bervariasi ini peneliti menilai perlu suatu kajian terkait pengaruh-pengaruh yang mungkin timbul bagi beberapa parameter operasi pada motor induksi sejalan dengan beban kerja (*load*) yang bervariasi. Kajian tersebut diharapkan dapat menjadi acuan tambahan bagi pihak terkait sehingga data informasi berkaitan dengan VFD pada TCVY-512 ini dapat tersedia.

Mengambil fokus pada lingkup yang lebih kecil, peneliti melakukan observasi dan pendekatan terhadap pengaruh penggunaan VFD pada motor sistem TCVY-512 terhadap beban kerja yang bervariasi. Adanya kajian terkait penggunaan VFD pada motor TCVY-512 ini bertujuan untuk mengetahui lebih dalam pengaruhnya terhadap beberapa parameter seperti tegangan, arus, daya, torsi dan kecepatan, serta efisiensi motor sejalan dengan beban kerja yang bervariasi. Berangkat dari beberapa hal tersebut, peneliti melakukan penelitian dengan judul "Analisis Penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) dalam Sistem Kontrol Motor Tiga Fasa terhadap Beban Bervariasi pada Motor *Tubular Conveyor* 512". Penelitian ini akan mengkaji lebih dalam terkait pengaruh penggunaan VFD terhadap beberapa parameter operasi motor induksi dengan memperhatikan perubahan pada arus, daya, torsi dan kecepatan serta efisiensi motor.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bagaimana pengaruh penggunaan VFD pada motor induksi tiga fasa pada motor sistem TCVY-512 pada saat tidak terdapat beban kerja/*no load*?
b. Bagaimana pengaruh penggunaan VFD pada motor induksi tiga fasa pada motor sistem TCVY-512 dengan beban kerja/ *load* bervariasi ?

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Tempat penelitian ini adalah pada area *coal handling system* di PLTU TJB unit 5&6 Jepara.
b. Motor induksi yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa.
c. Penelitian ini hanya menganalisa sistem kontrol berbasis *Variable Frequency Drive* pada conveyor 512 di PLTU TJB 5&6 Jepara.
d. Penelitian tidak dilakukan pengukuran melainkan hanya mengambil data parameter yang diambil dari data pada *distributed control system* (DCS)

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. Mengetahui hasil pengukuan dan perhitungan parameter-parameter VFD pada sistem *conveyor* TCVY-512.
b. Mengetahui pengaruh penggunaan *variable frequency drive (*VFD) terhadap daya, dan efisiensi motor induksi tiga fasa dengan beban bervariasi pada TCVY-512.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Menjadi acuan kajian ilmiah terkait penggunaan VFD dan pengaruhnya bagi motor TCVY-512.
b. Memberikan gambaran kondisi VFD pada sistem TCVY-512 terkait beban kerja yang bervariasi.
c. Sebagai acuan kajian ilmiah bagi perusahaan terkait dengan sistem pengisiian coal silo di PLTU Tanjung Jati B unit 5&6.
d. Memberikan saran kepada pihak-pihak terkait dalam mengatur VFD pada TCVY-512 secara optimal dan efisien.
e. Memberikan saran kepada pihak perusahaan terkait penggunaan VFD di PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini bertujuan untuk memudahkan peneliti dalam menyusun laporan tugas akhir secara terarah dan sistematis. Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bagian awal pada laporan penelitian tugas akhir ini berisi halaman judul, halaman pengesahan, halaman pernyataan keaslian, halaman pernyataan persetujuan publikasi karya ilmiah, halaman persembahan, halaman moto, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, daftar lampiran, daftar istilah, serta abstrak.
b. Bagian utama pada penelitian ini berisi bab, sub bab, dan anak sub bab yang meliputi: Bab I, pada bab ini berisi uraian tentang latar belakang yang menjadi landasan peneliti terkait permasalahan yang timbul, rumusan masalah yang menjadi pokok pembahasan dalam penelitian, tujuan penelitian yang hendak dicapai, manfaat penelitian serta uraian berkaitan sistematika penulisan. Bab II, pada bab ini memuat tentang tinjauan pustaka yang menjadi acuan dan sumber referensi dari penelitian, serta landasan teori yang berkaitan dengan penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD), landasan teori ini menjadi acuan dasar teori dan sumber-sumber acuan terkait dalam menyusun penelitian. Bab III pada penelitian ini berisi uraian-uraian metode penelitian yang digunakan dalam penelitian yaitu meliputi: jenis penelitian, waktu dan tempat penelitian, objek penelitian, teknik pengumpulan dan analisa data, teknik penyajian data, variabel dan sampel penelitian, langkah-langkah penelitian serta rencana jadwal penelitian sehingga penelitian dapat berjalan secara sistematis berdasarkan kerangka berpikir dan langkah-langkah penelitian yang digunakan. Pada Bab IV berisi uraian berkaitan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan meliputi pencatatan data-data serta analisa yang dilakukan berdasarkan data. Bab V berisi kesimpulan yang didapatkan dari hasi analisa dan juga saran peneliti bagi pihak-pihak terkait berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan.

c. Bagian akhir pada penelitian ini terdiri dari daftar pustaka yang mencantumkan daftar sumber-sumber terkait yang mencadi referensi penelitian. Pada bagian ini juga terdapat lampiran-lampiran yang menjadi pendukung penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

a. Jurnal Penelitian oleh Sigi Syah Wibowo, Abdul Manaf dan Tresna Umar pada tahun 2020 dengan judul "ANALISIS PEMBEBANAN BELT CONVEYOR MENGGUNAKAN MOTOR INDUKSI 3 FASE 1,5 KW DAN VSD SEBAGAI SPEED CONTROLLER" dalam jurnal Teknik: Ilmu dan Aplikasi, Politeknik Negeri Malang. Pada Jurnal ini meneliti tentang pegaruh penggunaan VSD terhadap pembebanan *belt conveyor* dengan penggerak motor induksi 3 fasa 1,5 kW. Hasil penelitian pada jurnal tersebut menunjukan adanya kecenderungan pada beban konstan dan frekuensi bervariasi maka besar nilai frekuensi berbanding lurus dengan besar nilai arus input motor, daya input, kecepatan poros rotor, efisiensi, dan kecepatan belt conveyor. Sedangkan nilai frekuensi berbanding terbalik dengan besar nilai slip motor.[3]

b. Jurnal Penelitian oleh Gomgom dan Ishak Effendi pada tahun 2019 dengan judul "PENERAPAN VARIABLE FREQUENCY DRIVE PADA MOTOR FUEL SCREW FEEDER UNTUK BAHAN BAKAR PADA SISTEM BOILER DI PT LONTAR PULP & PAPER INDUSTRY" dalam Jurnal Desiminasi Teknologi Volume 2 Nomor 1. Pada Jurnal ini meneliti tentang penerapan VFD pada motor *screw feeder* pada sistem boiler di PT Lontar Papyrus Pulp and Paper. Penelitian ini menggunakan metode pendekatan kuantitatif melalui observasi langsung dan ujicoba peralatan melalui pengaturan frekuensi pada VFD sehingga didapatkan data berkaitan dengan performa Motor induksi yang dicatu menggunakan VFD. Hasil dari penelitian ini menunjukan bahwa nilai set poin 0-100% berbanding lurus dengan kecepatan motor yang berada pada kisaran 300-1500 rpm. Selain itu hasil uji coba menunjukan bahwa kenaikan settingan frekuensi pada VFD berbanding lurus dengan kenaikan nilai arus pada Motor.[4]

c. Jurnal Penelitian oleh Mohammad Aswad Alfian M, dkk., pada tahun 2023 dengan judul "PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI DALAM SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS VARIABLE FREKUENSI DRIVE (VFD) TERHADAP ARUS KUMPARAN MOTOR" Politeknik Bosowa, Makasar dalam *Journal of Electrical Enginering* (Joule), Volume 4 No 2. Pada Jurnal ini meneliti tentang perubahan yang terjadi pada arus kumparan motor berdasarkan perubahan nilai frekuensi yang diatur pada VFD. Penelitian ini menggunakan metode pendekatan kuantitatif melalui beberapa pengujian dan observasi langsung dilapangan. Pengujian yang dilakukan meliputi Pengujian variasi frekuensi pada VFD, beban konstan tanpa VFD serta beban konstan dengan VFD, dan beban bervariasi. Adapun Hasil penelitian ini menunjukkan terjadinya perubahan kecepatan yang sebanding dengan semakin tingginya nilai frekuensi yang diujikan yaitu pada kisaran 10-60 Hz dengan kecepatan 390-2167 rpm. Sedangkan perubahan arus tidak terjadi secara signifikan pada perubahan nilai frekuensi VFD. Pada beban konstan tanpa VFD menunjukkan tidak terjadinya perubahan arus yang signifikan. [5]

d. Jurnal Penelitian oleh Soleh Udin dan Didik Dwi Suharso pada tahun 2022 dengan judul "MONITORING AND CONTROL OF A VARIABLE FREQUENCY DRIVE USING PLC AND SCADA" dalam Jurnal Nasional dan Teknologi Informasi Volume 5 No 6 Politeknik Pelayaran Surabaya. Dalam jurnal penelitian tersebut meneliti tentang pengukuran dan sistem kontrol kecepatan motor listrik yang dicatu menggunakan VFD pada motor induksi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melalui pendekatan kuantitatif dengan cara observasi dan uji coba langsung pada peralatan yang diteliti. Hasil dari penelitian ini menunjukan bahwa dengan diaturnya frekuensi input memberikan pengaruh naiknya nilai rpm putaran motor, dengan kata lain kenaikan frekuensi berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan putaran motor. [6]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Motor Induksi

a. Umum

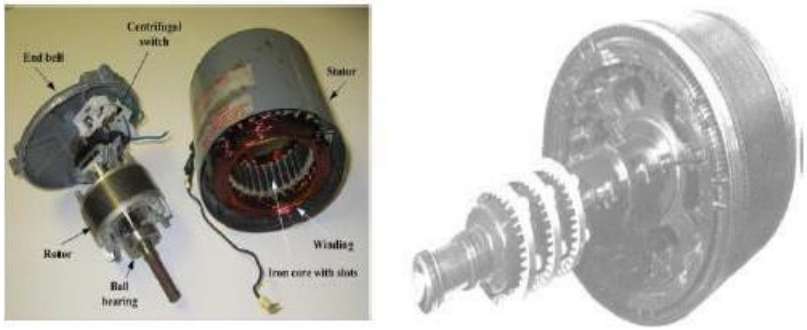
Motor listrik adalah alat yang digunakan untuk merubah energi listrik menjadi energi kinetik. [2] Motor induksi dengan penggunaan yang luas merupakan sistem motor arus bolak-balik dengan sumber arus terinduksi sebagai dampak antara perputaran rotor dan medan putar stator.

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh hubungan sumber tegangan tiga fasa sehingga berputar dengan kecepatan sinkron (ns = 120f / P). terjadi perpotongan fluks oleh konduktor pada rotor dan lebih lanjut menimbulkan arus induksi sebagai mana hukum Lentz. Rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dengan rotor disebut slip.

b. Kontruksi motor induksi

Konstruksi utama dari motor induksi terdiri dari bagian stator dan rotor. Adapun penjelasan stator dan rotor adalah sebagai berikut:

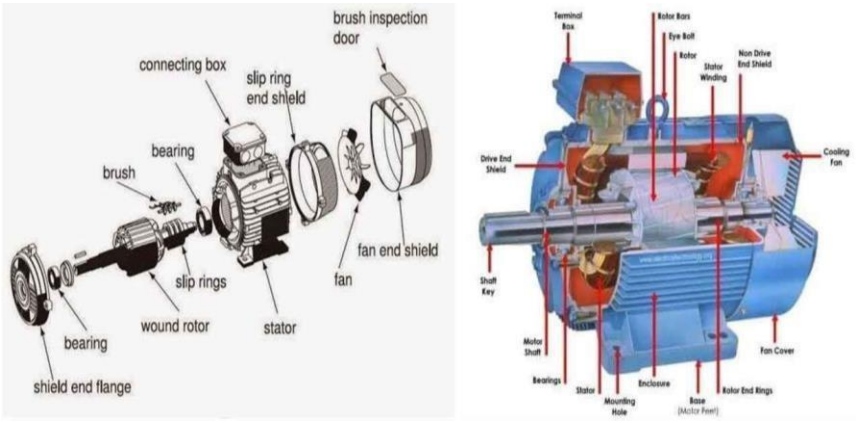
1. *Stator*: adalah bagian yang diam (statis) dengan kumparan medan sebagai induktor medan elektromagnetik ke kumparan rotornya.
2. *Rotor*: adalah bagian yang berputar dari motor (*rotary*). Dalam penggunaan motor induksi daya keluaran motor induksi akan disalurkan ke beban sebagai daya mekanik melalui rotor



Gambar 2.1 Stator dan Rotor[2]

Bagian bagian lain dari motor induksi antara lain sebagai berikut:

1. *Body Cover*, merupakan selongsong yang menjadi tempat komponen-komponen motor dan berfungsi sebagai penopang sekaligus melindungi motor dari paparan luar.
2. *Bearing*, merupakan bantalan yang berdungsi sebagai penopang shaft motor dan menahan rotor tetap pada posisinya. *Bearing* juga berungsi untuk menghindasi gesekan akibat putaran rotor. Bearing pada motor induksi umumnya terdapat pada bagian depan dan belakang motor.
3. *Shaft*, merupakan poros berbentuk silinder yang menghubungkan rotor dengan tuas motor dan menjadi bagian yang berperan dalam menyalurkan energi putaran.
4. *Cooler fan*, merupakan baling-baling yang berputar untuk mendinginkan suhu motor induksi. Pada umumnya fan ini terletak pada bagian belakang motor
5. *Carbon Brush*, pada beberapa jenis motor induksi terdapat carbon brush yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik menuju kumparan yang berputar, carbon brush ini memastikan bahwa tetap terjadi kontak tegangan kedalam rotor yang berputar.
6. *Wound* / Kumparan, adalah gulunngan kawat konduktor yang mengalirkan arus listrik dan menghasilkan medan magnet melalui proses elektromagnetik. Pada motor induksi jenis tertentu terdapat 2 tipe kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.
7. *Box conector*, merupakan ujung-ujung kumparan yang terhubung kedalam konektor sumber tegangan. Pada motor induksi 3 fasa ujung-ujung kumparan ini dapat di couple kedalam rangkaian star-delta di dalam *conector box.*



Gambar2.2 Kontruksi Motor Induksi [7]

c. Prinsip kerja

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik pada kumparan stator terhadap kumparan rotornya. Medan magnet akan dihasilkan ketika kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa. Garis gaya magnet yang timbul akan memotong kumparan rotor dan terpiculah gaya gerak listrik. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus ada kumparan rotor[2].

Torsi yang menggerakan motor timbul akibat gaya Lorentz dimana kumparan rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan Hukum Lentz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun.

d. Karakteristik motor induksi 3 fasa

Dengan memperhatikan karakteristik motor listrik, dapat diketahui kriteria yang baik dari suatu motor listrik 3 fasa. Karakteristik motor listrik yang utama, yang perlu diperhatikan adalah:

1. Karakteristik torsi-arus (Nm -A)
2. Karakteristik kecepatan-arus (rpm -A)
3. Karakteristik torsi-kecepatan (Nm – rpm)

Dengan diketahui besaran Torsi dan kecepatan putaran (n), nilai daya mekanis dapat diketahui. Torsi di bangkitkan pada poros motor atau mesin penggerak dengan kecepatan putar (n). Kecapatan putaran motor n adalah jumlah revolusi untuk suatu periode waktu tertentu. Kecepatan putaran motor diukur dalam satuan revolusi per menit (rpm) atau revolusi per detik (rps). Kecepatan putaran motor listrik yaitu revolusi per menit (rpm). Pengukuran torsi menggunakan tongkat penyeimbang yang menunjukan hasil kali antara gaya dan panjang dari lengan penyeimbang.[8].

2.2.2 *Belt Conveyor*

a. Umum

Conveyor merupakan suatu peralatan yang berfungsi untuk memindahkan suatu barang dari satu tempat ke tempat lain sebagai suatu alat pemngangkut dengan kapasitas tertentu yang menggunakan media *conveyor*. Belt conveyor adalah sebuah alat yang digunakan untuk membantu manusia dalam menyelesaikan pekerjaannya. *Belt conveyor* memiliki banyak spesifikasi yang memperbolehkan *belt conveyor* mengangkut barang-barang padat dengan berbagai karakteristik seperti panas, berminyak, tajam dan lainnya. *Belt conveyor* digunakan untuk membantu memindahkan barang-barang dalam jumlah besar atau barang-barang yang berat. Dalam dunia industri, *belt conveyor* sangat dibutuhkan untuk memindahkan berbagai produk atau bahan mentah dari suatu tempat ke tempat lainnya karena *belt conveyor* lebih cepat, mudah, dan dapat

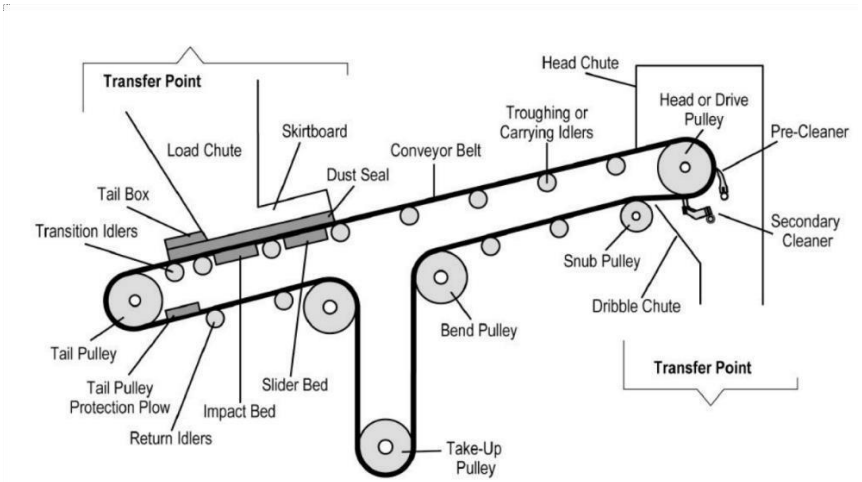
menghemat tenaga manusia yang dibutuhkan untuk memindahkan produk-produk tersebut.

b. Kontruksi *belt conveyor*

Belt Conveyor terdiri dari beberapa bagian utama sebagai berikut:

1. Belt conveyor: merupakan bentangan ban berjalan yang berfungsi untuk memindahkan material dan meneruskan gaya gerak.
2. Motor: sebagai penggerak utama belt conveyor.
3. Reducer: disebut juga dengan *gearbox* merupakan alat yang menghubungkan sumberdaya ke pulley dan berfungsi mengurangi putaran dari motor agar putaran input dari motor lebih sesuai..
4. Pulley: roda tempat terpasang nya belt. Jenis jenis pulley yaitu: drive pulley, tile pulley, snub pulley, take up pulley, band pulley. --*Drive pulley*, merupakan pulley yang secara langsung atau tidak langsung terhubung dengen motor listrik dan dikopling dengan gearbox. Fungsi nya untuk memutar belt. Posisi *drive pulley* tidak harus selalu di depan, bisa di pasang dimana saja yang bisa di anggap memungkinkan.
   a) *Take up pulley*, berfungsi untuk menjaga ketegangan belt. *Take up pulley* terhubung dengan *counter weight*.
   b) *Bend pulley*, yang berfungsi untuk menikungkan atau membelokan arah belt.
   c) *Head pulley*, berada pada ujung depan *conveyor*. Tidah semua head pulley dapat dipakai sebagai *drive pulley*. *Head pulley* tang tidak dapat dihungkan dengan *drive pulley* tidak dapat disebut sebagai *drive pulley.*
   d) *Snub pulley*, digunakan untuk memperbesar sudut lilitan kontak antara pulley dengan belt. Biasa nya *snub pulley* terletak di dekat drive pulley.
   e) *Tail pulley*, berada di sisi belakang *conveyor*. Berfungsi untuk memutar kembali *belt conveyor* menuju kearah *drive pulley*.

5. *Idler*:pulley pembawa belt yang terpasang sepanjang conveyor. Jenis-jenis idler yaitu impact idler, caring idler, retrun idler dan steering idler:
   a) *Carring idler*, berfungsi untuk menjaga *belt* pada bagian yang berbeban atau sebagai roll penunjang dan bermuatan material. Posisi dari carring idler berada dia atas *conveyor table*. Komposisi nya terdiri dari 3 buah roll penggerak berbentuk V.
   b) *Impact idler*, posisi nya persis dibawah *chute*. Pada bagian luar nya dilapisi dengan karet dan jarak antara satu sama lain lebih rapat dari *carring idler*. Fungsi nya untuk menahan belt agar tidak sobek atau rusak akibat batu bara yang jatuh dari atas.
   c) *Return idler,* berada dibawah belt pada sisi balik *conveyor*. Komposisi nya hanya terdiri dari satu buah roll penyangga dan berfungsi untuk mengangga belt dengan arah putar balik.
   d) *Steering idler*, merupakan *idler* yang berfgungsi untuk menjaga kelurusan belt agar tidak jogging (bergerak kekiri atau ke kanan).
   e) *Counter weight*: merupakan pemberat untuk menjaga ketegangan belt.
   f) *Cleaning device*: peralatan untuk membersihkan belt dari material yang menempel jenis nya yaitu, *belt scrapper, belt cleaner, rubber skirt* dan *plough scrapper.*
   g) *Coal plough*: alat untuk menjatuhkan batu bara dari *conveyor* sehingga batu bara masuk ke bunker.



Gambar 2.3. Bagian-bagian *conveyor* [9]

c. Prinsip kerja *belt conveyor*

Prinsip kerja *belt conveyor* yaitu dengan memindahkan material diatas belt. Pada bagian input terdapat umpan berupa chute pada sissi tail untuk menumpahkan material ke belt selanjutnya. Penggerak *belt* adalah *drive/head pulley* dengan motor listrik sebagai penggerak utamanya. *Head pulley* menarik *belt* dengan prinsip gaya gesek permukaan belt dengan drum. Bagian penggerak *head pulley* dengan menggunakan motor listrik yang diteruskan ke gear reducer dengan coupling diteruskan kembali ke *head pulley*.

Pada beberapa *belt conveyor* yang menanjak, terdapat alat pelengkap berupa *holdback / back stop* untuk mencegah belt mundur saat berhenti ketika ada muatan. Pada bagian bawah *head pulley* biasanya dilengkapi dengan pembersih / *belt cleaner*, fungsinya untuk membersihkan material yang menempel pada belt setelah material dituangkan.

2.2.3 *Variable Frequency Drive* (VFD)

a. Umum

VFD disingkat *Variable Frequency Drive* (juga dikenal sebagai AC *Drives and Inverters*) - yang digunakan untuk membuat motor AC bekerja dalam kecepatan variabel. Sistem VFD dasar umumnya terdiri dari motor AC, pengontrol, dan antarmuka operator. VFD adalah jenis pengontrol

motor yang menggerakkan dan mengendalikan motor listrik melalui sistem inverter dalam merubah nilai frekuensi dan amplitudo pada tegangan listrik. VFD mengontrol kecepatan dan torsi motor untuk memenuhi kebutuhan aplikasi dengan memvariasikan frekuensi dan suplai tegangan

Frekuensi berhubungan langsung dengan RPM motor; semakin tinggi frekuensinya, semakin besar jumlah RPM nya. Dengan pengaturan frekuensi dan tegangan ini, didapatkan kecepatan putaran motor yang diinginkan. Memang ada banyak cara untuk mengatur atau mengurangi kecepatan motor seperti dengan menggunakan gearbox atau *reducer*

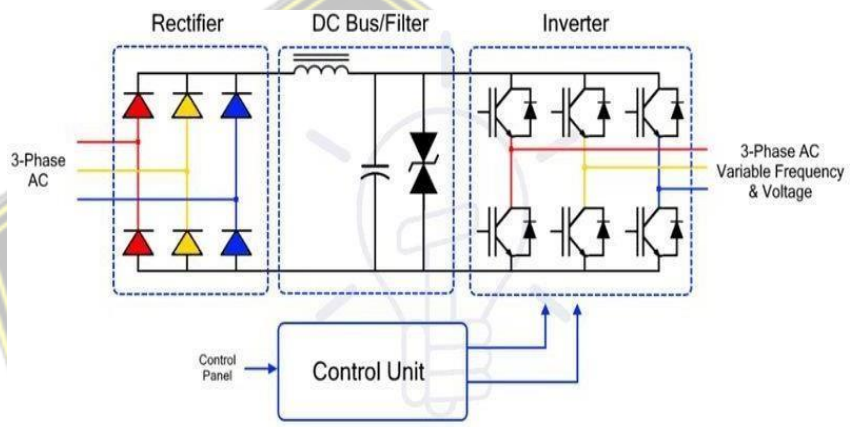
Gambar 2.4. VFD di PLTU Tanjung Jati B 5 dan 6

b. Konstruksi VFD

Secara umum komponen utama dari *Variable Frequency Drive* terdiri dari Inverter, *Capasitor bus*, dan IGBT sistem. Tiga komponen utama tersebut bekerja dalam sistem yang menghasilkan output tegangan dengan nilai frekuensi *variable* sesuai dengan yang diperlukan. Dalam penerapannya terhadap motor induksi 3 fasa akan menghasilkan nilai kecepatan dan torsi yang sesuai untuk mengontrol kinerja motor. Penjabaran lebih lanjut mengenai ketiga komponen utama VFD adalah sebagai berikut:

1. Inverter dalam VFD berfungsi menyearahkan arus AC 3 fasa menjadi DC sebelum menuju IGBT sistem.
2. Capasitor Bus berfungsi menyetabilkan arus DC yang dikonversi
3. IGBT sistem yang berfungsi sebagai pengubah arus DC menjadi AC dan sistem ini memungkinkan perubahan nilai frekuensi output tegangan. Secara general IGBT berperan sebagai *switch* yang memungkinan terjadi soft start pada motor induksi.

Secara lebih detail alur pada VFD dapat dilihat pada diagram blok berikut:



Gambar 2.5 Diagram blok VFD[10]

c. Prinsip Kerja VFD

Variable Frequency Drive (VFD) berfungsi untuk mengontrol kecepatan dan torsi motor induksi dengan cara mengatur frekuensi dan tegangan yang diberikan ke motor. Proses ini dimulai dengan menerima suplai listrik tiga fasa dari sumber daya, biasanya dengan tegangan 380V, 400V, atau 440V AC pada frekuensi 50Hz atau 60Hz, tergantung pada standar regional. Tegangan AC ini pertama kali melewati RFI Filter dan AC Chokes untuk mengurangi gangguan elektromagnetik (EMI) serta distorsi harmonisa yang dapat merusak komponen elektronik di dalam VFD maupun sistem listrik lainnya.

Setelah melalui tahap filtrasi, tegangan AC tiga fasa ini masuk ke rectifier bridge, yang biasanya terdiri dari dioda atau thyristor, untuk dikonversi menjadi tegangan DC. Dalam tahap ini, tegangan 380V AC RMS

(Root Mean Square) dari sumber akan dikonversi menjadi tegangan DC sekitar 537V (√2×380V), karena nilai puncak gelombang AC lebih tinggi daripada nilai RMS-nya. Tegangan DC ini masih memiliki riak tegangan, sehingga diperlukan DC Bus Capacitors untuk menstabilkan tegangan dan mengurangi fluktuasi, menghasilkan tegangan DC yang lebih halus dan konstan sekitar 540V DC.

Setelah tegangan DC disaring dan disimpan, inverter IGBT dalam VFD bertugas untuk mengubah kembali tegangan DC menjadi tegangan AC tiga fasa dengan frekuensi dan tegangan yang dapat disesuaikan. Proses ini menggunakan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM), di mana inverter secara cepat menghidupkan dan mematikan tegangan DC dengan pola tertentu untuk meniru bentuk gelombang sinusoidal AC. Tegangan keluaran dari inverter awalnya berbentuk gelombang pulsa tetapi setelah melewati motor induksi, akan menyerupai gelombang sinus murni. Tegangan keluaran ini bisa bervariasi dari 0V hingga 380V AC dengan frekuensi yang juga dapat disesuaikan dari 0Hz hingga 50Hz atau lebih, tergantung kebutuhan aplikasi.

Dengan kemampuan VFD untuk mengubah tegangan dan frekuensi secara dinamis, motor dapat dioperasikan pada berbagai kecepatan tanpa kehilangan efisiensi. Saat kecepatan motor diatur lebih rendah, VFD menurunkan frekuensi dan tegangan proporsionalnya, misalnya pada 25Hz, tegangan keluaran juga turun menjadi sekitar 190V AC untuk menjaga rasio V/Hz tetap konstan. Dengan metode ini, motor dapat berjalan lebih lambat tanpa mengalami overheating atau kehilangan torsi. Sebaliknya, saat dibutuhkan kecepatan penuh, VFD dapat mengembalikan tegangan ke 380V AC dengan frekuensi 50Hz, atau dalam beberapa aplikasi, dapat meningkatkan frekuensi hingga 60Hz atau lebih, meningkatkan kecepatan putaran motor.

d. Kelebihan VFD

Kelebihan dari penggunaan VFD adalah sebagai berikut:

1. Frekuensi kecepatan yang bisa di atur sepenuhnya

   Meskipun kebanyakan motor telah dilengkapi dengan sistem bawaan untuk mengurangi arus start, penggunaan VFD menjadi salah satu peralatan soft starter sehingga motor mendapatkan arus listrik AC yang sama.
2. Mengoptimalkan konsumsi listrik sesuai kebutuhan

   Pembatasan konsumsi listrik untuk mesin motor induksi yang dicatu menggunakan VFD dapat menghemat biaya produksi jangka panjang karena efisiensi daya sehingga energi yang digunakan lebih efektif dan efisien.
3. Kecepatan perputaran motor bisa di sesuaikan dengan kebutuhan produksi

   Dalam kasus seperti ini, *Variable Frequency Drive* bukan hanya berguna untuk menghemat energi, tapi juga untuk membantu menghasilkan produk sesuai dengan kualitas yang diinginkan
4. Memperpanjang umur peralatan dan mengurangi perawatan.

   Memastikan kontrol motor yang optimal membantu peralatan bertahan lebih lama, dan mengurangi waktu henti akibat pemeliharaan. Karena VFD mengoptimalkan kontrol frekuensi dan tegangan motor, VFD menawarkan perlindungan yang lebih baik untuk motor Anda dari masalah seperti beban berlebih elektro termal, proteksi fasa, tegangan rendah, tegangan berlebih

e. Kekurangan VFD

1. Harga pemasangan cukup mahal
2. Menyebabkan *overheating* untuk pemakaian jangka panjang.

   Pada prinsipnya, setiap motor induksi telah memiliki sistem pendingin berupa kipas cooling masing-masing. Kipas *cooling* ini juga membutuhkan aliran listrik AC. Artinya jika motor digunakan dengan kecepatan rendah, dan suplai AC yang mengalir ke motor juga rendah, maka putaran kipas juga jadi lebih pelan. Dalam kondisi ini , penggunaan

dalam jangka panjang motor bisa mengalami overheating karena kipas cooling tidak bekerja dengan efektif.

3. Merusak *bearing* dan *winding* motor jika tidak teliti dalam pemasangan. *Winding* dan *bearing* sendiri merupakan 2 elemen yang sangat vital dalam mesin bermotor dan berfungsi agar rotor bisa berputar dengan kecepatan tinggi dan meminimalisir gesekan. Ketika jenis motor tidak kompatibel dengan energi maksimal yang bisa dihasilkan ketika menggunakan VSD mengakibatkan kerusakan *winding* yang terbakar sebagai dampak kelebihan muatan energi arus.
4. Membutuhkan operator dan teknisi yang memiliki kompetensi untuk proses pemasangan dan perawatan

   Penggunaan VFD yang memerlukan perhatian dan keahlian khusus agar performanya dapat terjaga sehingga memerlukan operator dan teknisi yang memiliki kapasitas yang baik. Dalam proses pengoperasian, VFD harus dioperasikan oleh personel yang telah terlatih dengan baik dan memahami mekanisme dan prinsip kerja serta potensi bahaya bagi personel *(human danger*) maupun potensi bahaya bagi peralatan VFD yang lebih lanjut dapat berdampak kepada peralatan-peralatan lain (*equipment danger*). Operator yang memiliki kompetensi yang sesuai dapat meminimalisir potensi kerugian tersebut.

   Pemasangan dan perawatan VFD juga harus melibatkan pihak-pihak terkait yang memiliki kompetensi yang memadai. Hal ini bertujuan agar pemanfaatan VFD dapat berjalan dengan maksimal sesuai dengan peruntukannya. Tenaga teknisi yang kompeten menjadi salah satu hal yang harus dipenuhi agar performa dari peralatan yang menggunakan VFD menjadi optimal dan kerusakan-kerusakan akibat kurang baiknya sistem perawatan dapat dihindari. Lebih jauh, personel yang diperlukan baik dari segi pengoperasian maupun pemeliharaan menjadi faktor penting yang jika kompetensi nya tidak sesuai dapat menjadi suatu kerugian.

2.2.4 *Tube Conveyor* 512 (TCVY-512)

a. Umum

Secara umum struktur *Tubular conveyor* atau *tube conveyor* memiliki bagian-bagian yang sama dengan *conveyor* pada umumnya, bagian-bagian tersebut meliputi *drive*, *pulley*, *idler* dsb. Hal utama yang membedakan adalah pada *tubular conveyor* segmen untuk mengangkut bebab batubara yang mengalami perubahan pada permukaannya yang datar melengkung hingga berbentuk tabung (*tube*). Penggunaan *conveyor* jenis ini biasanya diterapkan pada sistem *conveyor* yang memiliki bentang jalur yang panjang dan berkelok.

Pada PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6, penggunaan *tube conveyor* ini terdapat pada TCVY-512 A dan B yang merupakan salah satu *conveyor* terpanjang dengan rute yang berkelok-kelok.

b. Karakteristik performa dari *tubular conveyor* adalah:

1. Perpindahan material tertutup

   Bentuk *tubular conveyor* yang berupa tabung memungkinkan perpindahan material secara terisolasi dan tertutup. Hal ini dapat meminimalisir adanya tumpahan (*spillage*), debu, atau pencemaran dari luar sehingga tipe *conveyor* ini dinilai lebih ramah terhadap lingkungan.

2. Memungkinan penyusunan *conveyor* melengkung dan berkelok

   Susunan *conveyor* yang dipaksa untuk melengkung mengikuti enam idler mengakibatkan minimnya kemungkinan *misalignment* pada *tubular conveyor*. Selain itu, tipe ini memiliki fleksibilitas yang lebih baik karena dapat disusun dalam rangkaian sistem *conveyor* yang mengikuti kontur tanah sehingga lebih efisien tanpa memerlukan banyak *transfer tower*.

3. Kecenderungan memuat beban material yang lebih besar

   Luas penampang pada *tube conveyor* memungkinkan beban yang dimuat pada sistem ini lebih besar. Hal ini karena pada *tube conveyor* koefisien kontak gesekan antara permukaan material menjadi lebih besar sehingga beban muatan yang dipindahkan meningkat.

c. Spesifikasi TCVY-512

Spesifikasi *Tube Conveyor* -512 (TCVY-512) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi TCVY-512 A dan TCVY-512B[11]

NO	Parameter	TCVY-512A	TCVY-512B
1	*Material load*	Coal	Coal
2	*Granularity*	≤ 50 mm	≤ 50 mm
3	*Volumetric Weight*	0.85 t/m^3	0.85 t/m^3
4	*Rated Conveying Capacity*	1700 t/h	1700 t/h
5	*Machine Length*	1212,254 m	1210,342 m
6	*Belt Length*	2535 m	2531 m
7	*Rated Belt Speed*	4,4 m/s	4,4 m/s
8	*Belt Width*	Φ500 (1850) mm	Φ500 (1850) mm
9	*Drive Power*	450 kW	450 kW
10	*Motor Model*	AEDM-TK-4P-355D	AEDM-TK-4P-355D

2.2.5 Perhitungan dan Pengukuran Listrik

Pengukuran dan perhitungan listrik merupakan kegiatan atau hasil perandingan kuantitatif antara besararn tertentu terhadap besaran lain sejenis yang diyatakan dalam satuan.[12].

a. Arus dan Tegangan

Arus merupakan perubahan muatan setiap satuan waktu. Arus dapat juga diartikan sebagai aliran muatan positif dari suatu rangkaian listrik. Sedangkan Tegangan atau beda potensial adalah nilai perbedaan muatan listrik dari suatu titik terhadap titik lain dalam suatu rangkaian listrik. [12]

Dalam sistem listrik tiga fasa, terdapat dua jenis tegangan yang umum digunakan yaitu tegangan fasa ke fasa (*line-to-line voltage*, V_{LL} dan tegangan fasa ke netral (*line-to-neutral voltage*, V_{LN}) Perbedaan antara keduanya bergantung pada hubungan antara fasa dalam sistem kelistrikan, yang biasanya berbentuk konfigurasi bintang (Y) atau delta (Δ).

1. Tegangan Fasa ke Fasa (V_{LL})

   Tegangan fasa ke fasa adalah tegangan yang diukur antara dua konduktor fasa dalam sistem tiga fasa. Misalnya, dalam sistem listrik 380V tiga fasa, tegangan fasa ke fasa adalah 380V, yang berarti tegangan antara L1-L2, L2-L3, atau L3-L1 semuanya adalah 380V.

2. Tegangan Fasa ke Netral (V_{LN})

   Tegangan fasa ke netral adalah tegangan yang diukur antara satu konduktor fasa dengan titik netral dalam sistem bintang (Y). Tegangan ini lebih rendah dibandingkan tegangan fasa ke fasa dengan nilai $\frac{1}{\sqrt{3}} V_{LN}$.

Dalam suatu rangkaian listrik dengan nilai hambatan tertentu, besar Arus dan tegangan dapat dilihat dengan rumus matematis sebagai berikut:

$$\mathbf{I = \frac{V}{R}} \quad \textbf{atau} \quad \mathbf{V = I \times R} \qquad \text{.....(2.1)}$$

Dimana:

I: Arus (A)

V: Tegangan (Volt)

R: resistensi (Ω)

Pada sistem kontrol VFD di PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6 pada sistem TCVY-512, pengukuran maupun perhitungan arus maupun tegangan dapat secara langsung maupun tidak langsung diamati melalui alat ukur yang sudah ada. Sistem pengukuran ini secara umum telah tercantum dalam sistem VFD.

b. Daya listrik

Daya Listrik adalah nilai besaran energi yang diperlukan dalam melakukan suatu usaha[13]. Daya sebagai salah satu parameter penting untuk menilai kriteria baik atau tidaknya suatu sistem kelistrikan dalam memenuhi keperluan dan kebutuhan pengguna. [14] Daya listrik terdiri dari 3 jenis daya yaitu:

1. Daya Semu

Daya semu merupakan daya total yang ditarik oleh beban atau jumlah secara vektor dari daya aktif dan daya reaktif. [14]Sedangkan menurut daya semu diartikan sebagai keseluruhan kapasitas daya yang belum terpakai atau dengan kata lain sebagai hasil dari total daya aktif dan daya reaktif. [13]

Daya semu untuk satu fasa:

$$\mathbf{S1\Phi = Vn.I} \quad \text{.....(2.2)}$$

Daya semu untuk tiga fasa:

$$\mathbf{S3\Phi = \sqrt{3}.Vl.I} \quad \text{.....(2.3)}$$

Dengan:

Vn = Tegangan fasa netral (Volt)

Vl = Tegangan fasa to fasa (Volt)

I = Arus yang mengalir (A)

S1Φ = Daya semu satu fasa (VA)

S3Φ = Daya semu tiga fasa (VA)

2. Daya aktif (daya nyata)

Daya nyata atau daya aktif adalah daya yang dikonversikan dalam bentuk energi lain seperti energi panas dan energi Cahaya dan digunakan secara langsung oleh peralatan motor listrik. Daya aktif adalah daya yang benar-benar dikonsumsi atau digunakan dalam rangkaian AC [13]. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian

dikaitkan dengan besaran arus atau faktor dayanya. Satuan daya aktif adalah Watt.[14]

Daya aktif adalah tegangan dikali arus dikali dengan cos phi Daya aktif untuk satu fasa:

P 1Φ = Vn•I•CosΦ .....(2.4)

Daya aktif untuk tiga fasa:

P 3Φ = √3•Vl•I•CosΦ.....(2.5)

Dengan:

CosΦ= Faktor daya

3. Daya reaktif

Daya reaktif adalah daya yang timbul dari proses magnetisasi. Daya reaktif dapat diartikan sebagai perbedaan antar daya semu yang masuk pada saluran daya aktif dan digunakan untuk daya mekanik panas. Walaupun daya reaktif tidak dapat melakukan kerja akan tetapi tetap diperlukan untuk membangkitkan medan magnet pada peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Satuan daya reaktif adalah VAR.

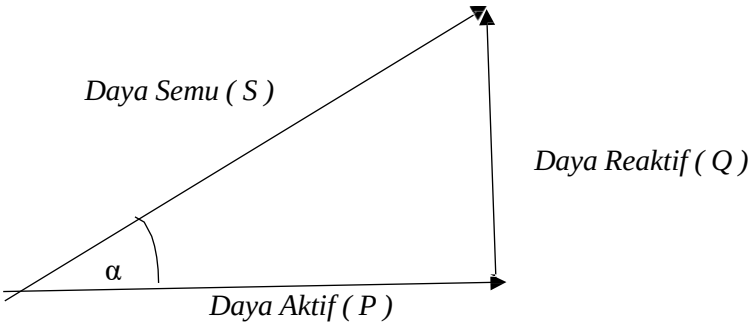
Daya reaktif untuk satu fasa:

Q = Vn.I.SinΦ.....(2.6)

Daya reaktif untuk tiga fasa:

Q = √3. Vn.I. SinΦ ..... (2.7)

Hubungan antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif dapat dilihat dalam segitiga daya sebagai berikut:



Gambar 2.6 Segitiga Daya[14]

4. Faktor Daya (PF)

   Faktor daya dapat diartikan dengan nilai perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu (S). Fator daya dirumuskan sebagai berikut

$$PF = \frac{P}{S} \quad \text{.....(2.8)}$$

   Dimana PF = Faktor daya

   P = Daya Aktif

   S= Daya semu

c. Frekuensi dan Kecepatan putaran

1. Frekuensi secara umum dapat diartikan sebagai banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Satuan dari frekuensi adalah Hertz (Hz). Frekuensi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mathbf{f} = \frac{\boldsymbol{n}}{\boldsymbol{t}} \quad \text{.....(2.9)}$$

atau

$$\mathbf{f} = \frac{\boldsymbol{\omega}}{\mathbf{2}\boldsymbol{\pi}} \quad \text{.....(2.10)}$$

dimana:

f = frekuensi

n = jumlah gelombang

t = waktu

ω **=** kecepatan sudut rotor

Pada suatu rangkaian motor listrik induksi yang dicatu dengan menggunakan VFD, pengaturan frekuensi dilakukan untuk mengatur kecepatan putaran motor listrik. Hal ini dilakukan karena frekuensi listrik dasar di Indonesia yaitu 50Hz, sehingga untuk mencapai kriteria tertentu diperlukan VFD.

2. Kecepatan putaran

   Kecepatan putaran dapat diartikan sebagai banyaknya putaran (revolusi) yang terjadi tiap satuan waktu. Satuan dari kecepatan putaran (n) adalah rpm atau revolusi per menit. Kecepatan putaran (N) dapat dirumuskan sebagai berikut:

   $$\mathbf{N} = \frac{120\,f}{p} \quad \text{..... (2.11)}$$

   Dimana:

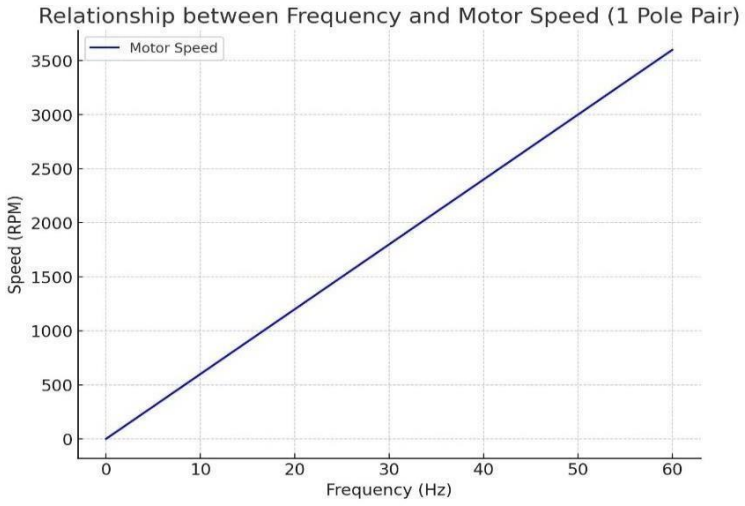
   N = kecepatan putaran (rpm)

   f = frekuensi (Hz)

   p = jumlah pasang kutub magnet

3. Hubungan Frekuensi dan Kecepatan putaran

   Berdasarkan kedua persamaan tersebut dapat dipahami bahwa perubahan frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan putaran motor. Maka semakin tinggi frekuensi semakin cepat juga suatu motor listrik berputar. Secara teoritis hubungan antara perubahan frekuensi terhadap kecepatan putaran motor induksi 1 pasang kutub dapat dimisalkan pada grafik berikut:



Gambar 2.7 Hubungan Frekuensi terhadap Kecepatan Motor (2 pasang kutub magnet)

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa kenaikan nilai frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan putarannya. Sehingga semakin tinggi frekuensi yang digunakan pada suatu rangkaian motor listrik semakin cepat pula putarannya (rpm).

d. Torsi

Torsi (T) merupakan kemampuan motor dalam mensuplai beban mekanik. [8]. Satuan torsi adakah Newton meter (Nm). Torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (2.12)$$

Dimana:

T = torsi (Nm)

P = daya (Watt)

ω = kecepatan sudut rotor

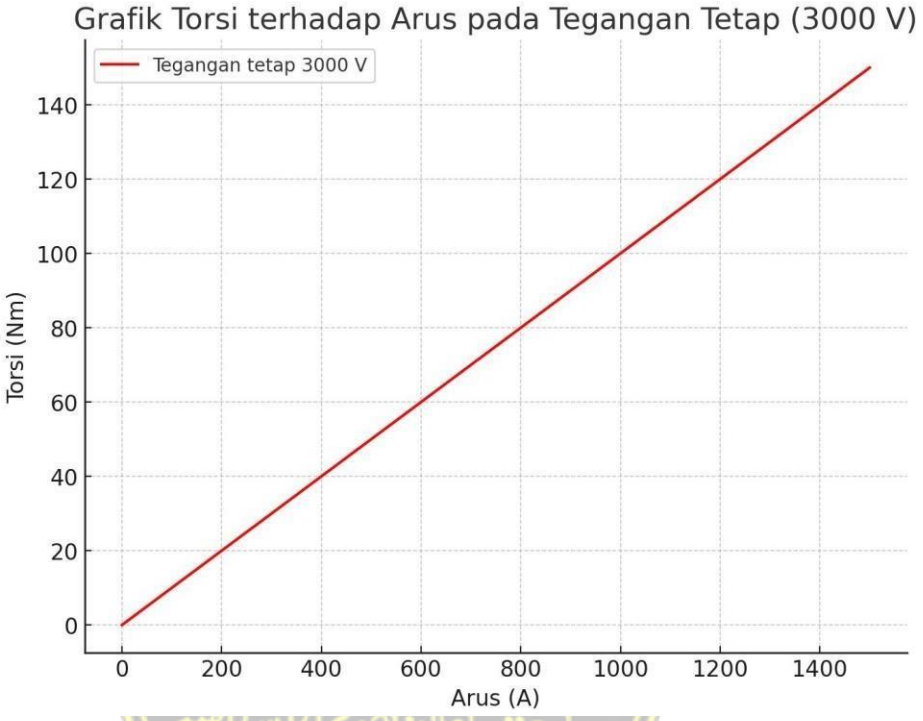
ω atau kecepatan sudut rotor dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\omega = 2\pi.n/60 \quad (2.13)$$

$$P = T \times \omega$$

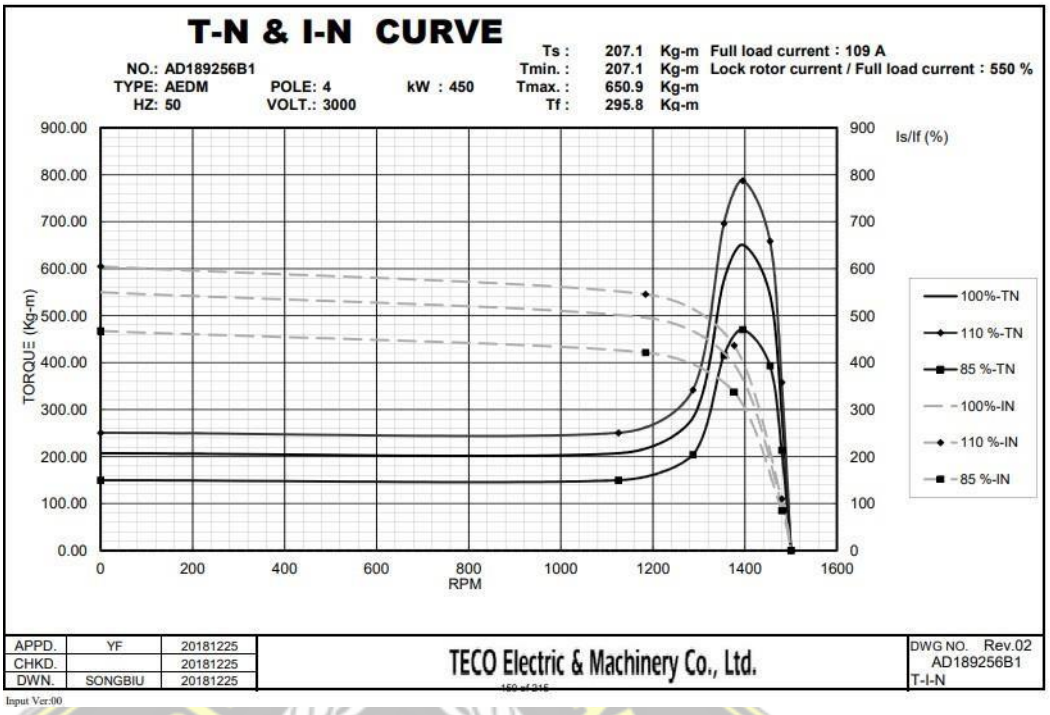
1. Hubungan Torsi terhadap arus dan tegangan

   Secara matematis Torsi dan arus berbanding lurus sejalan dengan kenaikan beban. Pada motor listrik kenaikan nilai Torsi linear dengan kenaikan arus. Dengan tegangan tetap nilai arus dan torsi akan dipengaruhi oleh spesifikasi motor induksi. Secara simulasi dapat digambarkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 2.8 Grafik Hubungan Torsi terhadap arus motor listrik pada tegangan konstan

Berdasarkan data yang didapatkan dari O&M book PT Bhumi jepara Services grafik hubungan Torsi terhadap beban secara spesifikasi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.9 Grafik kenaikan torsi terhadap kecepatan putaran sesuai spesifikasi[7]

e. Efisiensi

Efisiensi pada motor dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Pin}{Pout}\ x\ 100\% \quad \text{.....(2.14)}$$

Dimana:

η = efisiensi

P_{in} = Daya input (Watt)

P_{out} = daya output (Watt)

f. Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya pada motor listrik 3 fasa meliputi beberapa jenis rugi daya yaitu sebagai berikut:

1. Rugi Daya Total (**P_{losses}**)

$$\mathbf{P_{losses} = P_{in} - P_{out}} \quad \text{.....} \quad \mathbf{(2.15)}$$

Dalam motor listrik 3 fasa maka nilai daya (P) dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\mathbf{P_{losses} = (\sqrt{3}.Vl.I) – (\sqrt{3}•Vl•I•Cos\Phi)} \text{.....} \mathbf{(2.16)}$$

2. Rugi Faktor Daya

Dengan diketahui faktor daya (PF/ cos phi) maka nilai rugi daya () juga dapat dirumuskan sebagai berikut:

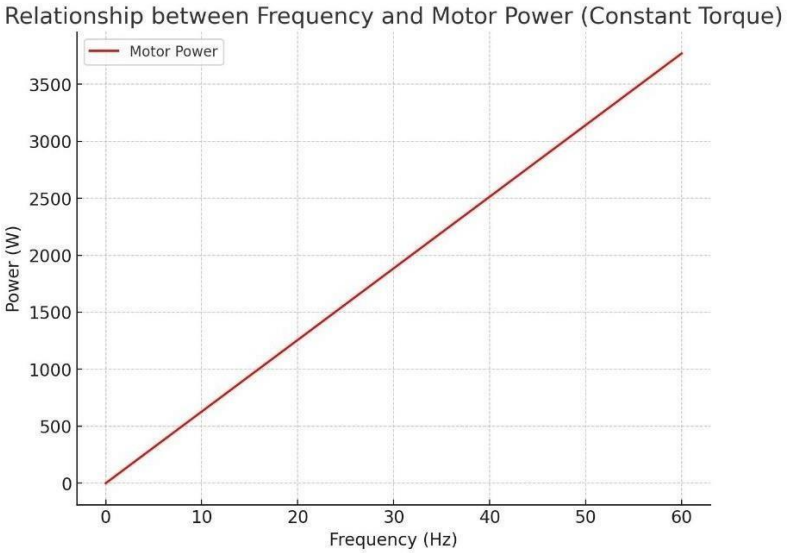
$$\mathbf{P_{losses} = P\ x\ (1- Cos\Phi)} \text{ ..... } \mathbf{(2.17)}[2]$$

g. Hubungan antara Frekuensi terhadap Daya dan Efisiensi pada motor induksi tiga fasa

Dalam perhitungan dan pengukuran terhadap VFD perlu diketahui hubungan antara perubahan Frekuensi terhadap Daya baik daya semu maupun daya reaktif serta pengaruhnya terhadap efisiensi motor listrik. Secara umum hubungan antara frekuensi terhadap daya dan efisiensi motor induksi tidak terlepas dari adanya keterkaitan antara perubahan nilai impedansi induktif, perubahan nilai torsi, serta kecepatan putaran akibat perubahan frekuensi jala-jala. Hubungan ini lebih rinci dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Hubungan perubahan Frekuensi terhadap daya

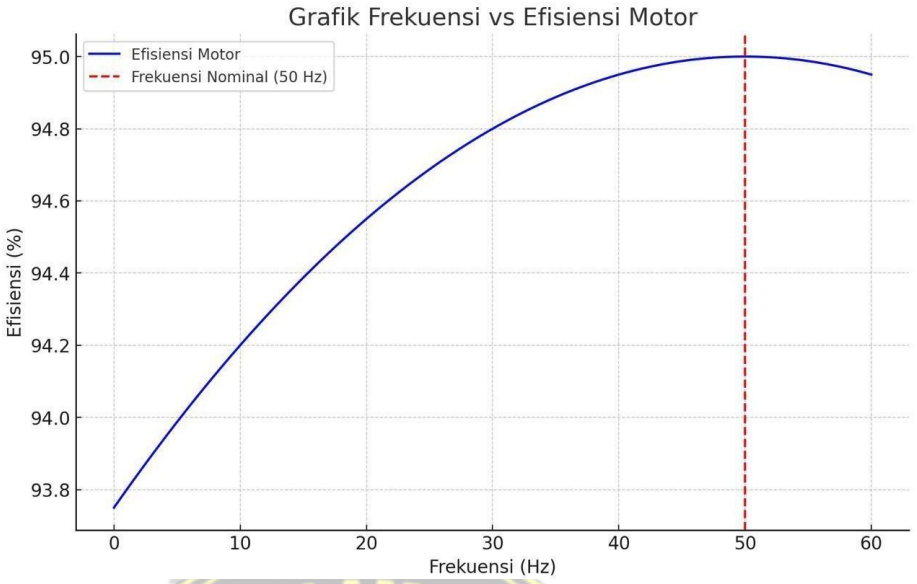
Berdasarkan persamaan (2.12) dimana perubahan daya pada motor listrik (P) dipengaruhi oleh nilai torsi (T) dan kecepatan sudut ($\boldsymbol{\omega}$). Maka melalui permisalan beban yang konstan dan perubahan frekuensi berkisar antara 0-60 Hz dapat dilihat hubungan antara daya dan perubahan frekuensi sebagai berikut:



Gambar 2.10 Grafik Hubungan Frekuensi terhadap Daya pada beban (Torsi) konstan

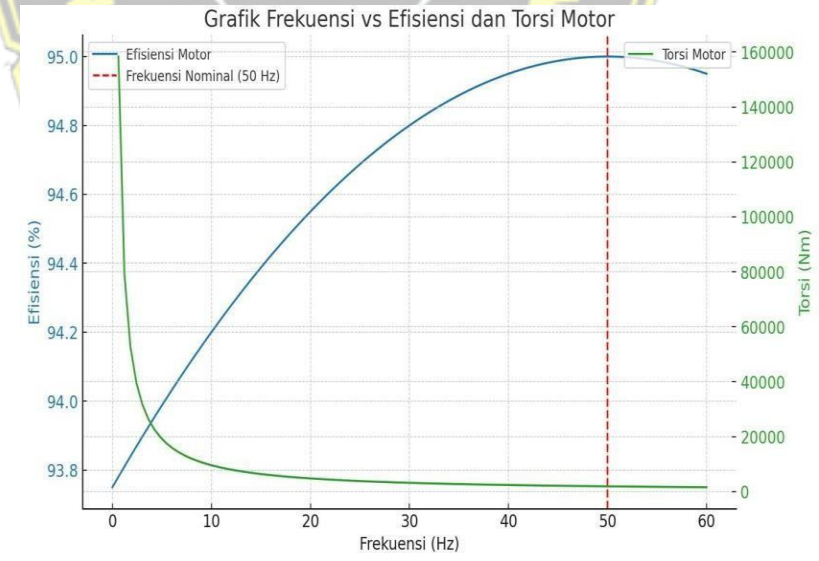
2. Hubungan perubahan Frekuensi terhadap efisiensi

   Secara umum pengaruh perubahan frekuensi terhadap efisiensi motor berhubungan dengan nilai frekuensi listrik dasar yang dalam hal ini adalah 50 Hz. Nilai efisiensi cenderung lebih kecil ketika nilai frekuensi kecil dan akan meningkat secara linear hingga frekuensi mencapai frekuensi dasar. Nilai efisiensi akan mencapai maksimum ketika nilai frekuensi berada pada nilai frekuensi dasar dan kemudian akan mengalami penurunan sehubungan dengan meningkatnya nilai rugi-rugi. Hubungan antara perubahan frekuensi terhadap efisiensi dapat dilihat pada grafik (Gambar 2.11) berikut:



Gambar 2.11 Grafik Hubungan Frekuensi terhadap efisiensi motor

Dengan mengacu pada data motor dimana daya yang diperlukan untuk mengoperasikan motor adalah 450kW hubungan antara frekuensi, torsi dan efisiensi motor adalah sebagai berikut:



Gambar 2.12 Grafik hubungan frekuensi terhadap efisiensi dan torsi pada beban konstan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan Pendekatan Kuantitatif. Menurut Moeleong,penelitian kuantitatif adalah penelitian berdasarkan pada paradigma ilmiah dengan maksud untuk menemukan pengetahuan melalui uji kebenaran hipotesis dan dispesifikasikan secara apriori. Metode penelitian kuantitatif dapat juga dipahami sebagai suatu cara pengujian teori dengan melihat keterkaitan antara kondisi actual dan teori.

Sedangkan menurut Hoy & Adam, penelitian kuantitatif merupakan suatu penelitian ilmiah yang terstruktur pada bagian dari kejadian dan keterkaitannya. Penelitian kuantitatif ini bertujuan untuk mengembangkan dan menggunakan model-model matematis, teori-tori dasar, dan/atau hipotesis yang berkaitan dengan suatu fenomena.[15]

Adapun jenis data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data kuantitatif yang meliputi grafik, data spesifikasi peralatan, serta data hasil percobaan pada VFD yang didapatkan dari *record data* pada *central control room* (CCR), serta data-data lain terkait VFD sebagai pengendali motor TCVY-512 pada PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6.

3.2 Objek Penelitian

a. Objek dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. VFD (*Variable Frequency Drive*) pada motor TCVY-512 yaitu pada *coal handling area* PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6. VFD ini terletak pada *Electrical room* (ER) 814. Spesifikasi VFD 512 adalah sebagai berikut[16]:

   Manufacture : Toshiba Mitsubishi Electric Industrial System Corp.
   Type : KYN28-12
   Spesifikasi : Arus 160 A, Voltase 3,6 kV

2. Motor Induksi 3 Fasa pada *belt conveyor* TCVY-512, yaitu Motor dengan spesifikasi dan data teknis sebagai berikut:

   KKS *number* : 00EAC01GU012

   Manufacture : TECO Elec. & Mach. Co., Ltd.

   Type : Motor Induksi 3 fasa (AEDM -TK)

   Dimensi : 355 D – 80 kg

   Jenis Rangkaian : Rangkaian delta/star

   Spesifikasi : Spesifikasi yang terdapat pada nameplate motor TCVY-814 pada PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6 adalah sebagai berikut[16]

Tabel 3.1. Spesifikasi motor 3 fasa TCVY-512

NO	Spesifikasi	Nilai
1	Daya	450 kW
2	Frekuensi	50 Hz
3	Voltase	3 kV
4	Arus	109 A
5	Jumlah Pole	2 Pasang
6	Effisiensi motor	96%

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Waktu : Bulan Maret 2024 – selesai

Tempat : PT Bhumi Jepara Sevice Jepara, PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6 yang beralamat di Komplek pembangkit Tanjung Jati B, Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara. Penelitian ini terfokus pada area *coal handling system* yaitu pada area VFD, Motor dan *conveyor* TCVY-512.

3.4 Variabel dan Sampel Penelitian

a. Variabel penelitian

Menurut Priyono, variable dalam suatu penelitian kuantitatif tebagi menjadi dua jenis yatu variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*). Variabel bebas merupakan suatu variable yang menjadi utama atau topik dalam suatu penelitian. Sedangkan variabel terikat yaitu variable yang timbul sebagai atau pengaruh dari suatu variable bebas. Selain dua variable diatas peneliti juga menggunakan variable antara (*intervening variable*). Variabel antara yaitu sebuah variable yang berada diantara variabel bebas dan variabel terikat.[17]

Adapun variabel yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas:

   Variabel bebas pada penelitian ini adalah *variable frequency drive* pada motor induksi tiga fasa pada *conveyor* 512 PLTU TJB 5 dan 6.
2. Variabel antara:

   Variabel antara pada penelitian ini adalah perubahan beban pada VFD Motor Induksi 3 fasa TCVY-512.
3. Variabel terikat:

   Variabel terikat pada penelitian ini adalah daya, dan efisiensi motor.

b. Sampel penelitian

Pengertian sampel menurut Bailey adalah bagian dari suatu populasi atau keseluruhan gejala yang akan diteliti.[17] Sehingga dapat diartikan juga bahwa sampel perlu dilihat sebagai suatu pendugaan terhadap populasi. Sample dalam penelitian ini mengacu pada homogenitas ketersediaan data yang ada pada *belt conveyor* TCVY-512 sehingga sample yang diambil merupakan sampel berdasakan jangka waktu tertentu sebagai berikut:

1. Data parameter VFD pada *Distributed control system* (DCS) yang diambil dengan rentang waktu enam hingga tujuh jam.
2. Pengambilan data melalui metode *random sampling* yaitu dengan pengambilan tiga data pada masing-masing beban bervariasi dan tiga data pada saat tanpa beban.

3.5 Tahapan Penelitian

a. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi Lapangan

   Observasi lapangan adalah suatu teknik pengumpulan data dengan melaukan pengamatan terhadap objek penelitian. Dengan pengamatan langsung, peneliti mendokumentasikan serta mencerminkan objek penelitian secara lebih sistematis.[18]Menurut Makbul, observasi dapat dimaknai sebagai suatu proses mengamati dan mencatat secara sistematis gejala yang timbul pada objek yang sedang diteliti.[15] Alasan penggunaan observasi adalah agar peneliti dapat melakukan pengamatan secara langsung guna memudahkan analisis dan pencatatan secara sistematis terhadap objek penelitian yaitu *Variable Frequency Drive* (VFD) dan motor induksi 3 fasa pada *conveyor* TCVY-512.

2. Studi Literatur

   Studi literatur merupakan suatu teknik pengumpulan data yang mengacu pada teori-teori tertentu yang relevan dengan topik penelitian. Menurut Neuman, teori adalah suatu uraian penjelasan yang terstruktur berkaitan dengan hukum dan kenyataan yang dapat diobservasi.[17] Tujuan dilakukan studi literatur dalam penelitian ini adalah agar peneliti dapat lebih memahami gagasan dan penjelasan sistematik tertentu berkaitan dengan penggunaan VFD pada motor induksi 3 fasa pada *belt conveyor* TCVY-512 di PLTU TJB unit 5 dan 6. Adapun sumber studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi; penelitian dan jurnal terkait, buku-buku literasi terkait, *operation and manual book*, dan data-data lain yang didapatkan dari PT Bhumi Jepara Service.

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Uji VFD pada Motor TCVY-512 dengan kecepatan maksimal 100% pada motor TCVY-512 dengan beban bervariasi

Adapun prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan dan alat rekam data
2. Melakukan koordinasi dengan operator DCS
3. Start pengoperasian *conveyor* 512
4. MengaturVFD secara otomatis pada kecepatan maksimal 100%
5. Mengatur beban kerja bervariasi yang dalam hal ini adalah beban *flowrate* batubara
6. Membaca data parameter VFD melalui monitor HMI pada grafik DCS di *control room*

b. Uji VFD pada Motor TCVY-512 dengan kecepatan maksimal 100% pada motor TCVY-512 dengan tanpa beban

Adapun prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan dan alat rekam data
2. Melakukan koordinasi dengan operator DCS
3. Start pengoperasian *conveyor* 512
4. Mengatur VFD secara otomatis pada kecepatan maksimal 100%
5. Kondisi TCVY tanpa beban adalah dengan mengambil data Ketika tidak terdapat *flowrate* batu bara
6. Membaca data parameter VFD melalui monitor HMI pada *distributed control system (*DCS) di *control room*

c. Pencatatan data hasil uji

Pencatatan data hasil uji dilakukan dengan membaca *record* data pada DCS yang menunjukan grafik perubahan parameter pada VFD motor TCVY-512. Adapun data yang ditampilkan meliputi:

1. Data Arus Motor
2. Data Kecepatan Motor
3. Data Torsi
4. Data Flowrate (beban)
5. Data Tegangan

d. Perhitungan daya dan efisiensi motor

Setelah data didapatkan peneliti selanjutnya melakukan perhitungan terhadap daya dan efisiensi melalui rumus matematis sebagaimana diketahui dalam landasan teori. Adapun perhitungan yang dilakukan yaitu:

1. Menghitung Daya aktif, daya reaktif dan daya semu
2. Menghitung faktor daya
3. Menghitung efisiensi motor

e. Input data hasil perhitungan dan penyajian data grafik perhitungan

Selanjutnya, data hasil perhitungan akan diinput kedalam tabel dan grafik yang akan memudahkan peneliti dalam menganalisis data. Data tersebut kemudian akan disajikan dalam bentuk grafik, tabel, maupun uraian deskriptif.

3.7 Teknik Analisa Data

Teknik Analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Data Reduction

Reduksi data adalah suatu teknis data dengan cara memilah, memusatkan dan menyederhanakan data yang diperoleh agar memperoleh data yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Pada penelitian ini, peneliti mereduksi data-data berdasarkan dokumen-dokumen yang diperoleh dari PT Bhumi Jepara service meliputi: OM Manual Book, SOP, Data peralatan Logbook, checksheet, dan Work Instruction.

b. Penyajian Data (*data display*)

Teknik penyajian data pada penelitian ini disajikan dalam bentuk deskripsi, table, dan grafik yang mendeskripsikan berkaitan dengan proses perhitungan variable penelitian pada VFD motor TCVY-512 yang meliputi:

1. Data arus
2. Data torsi
3. Grafik

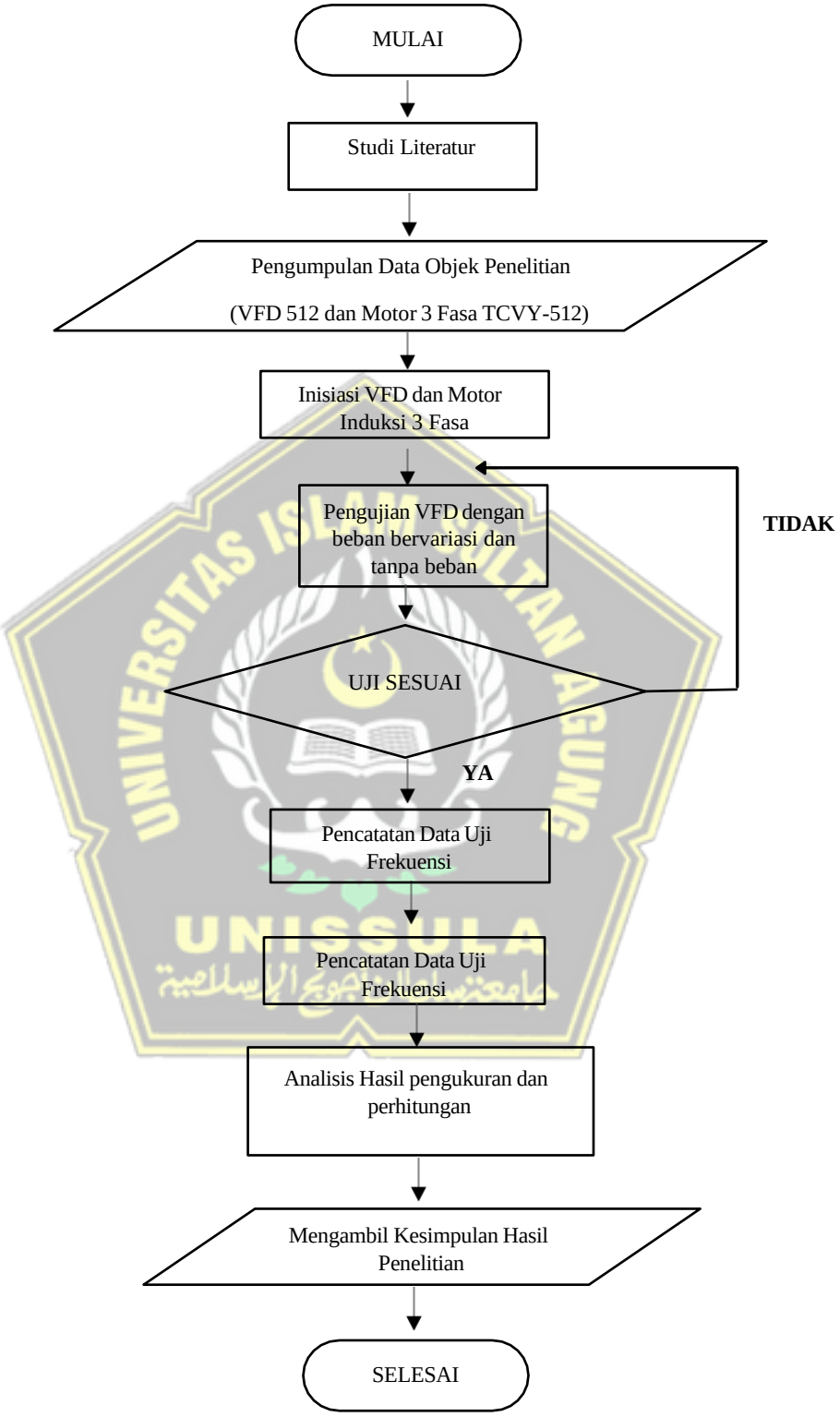
4. Data hasil perhitungan daya semu, daya aktif dan daya reaktif, factor daya, serta data efisiensi motor dalam bentuk table hasiil perhitungan matematis

c. Penarikan Kesimpulan dan Verifikasi Data

Setelah data diolah dan dianalisis, peneliti melakukan penarikan kesimpulan berdasarkan data-data yang didapat untuk selanjutnya diverifikasi. Penarikan kesimpulan dan verifikasi ini didasarkan pada data-data dilapangan, informasi dari sumber-sumber terkait, data parameter dan spesifikasi teknis, studi literatur dsb.

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

DATA DAN ANALISA

Pengambilan data pada VFD Motor TCVY-512 dilakukan dengan mengamati secara langsung (observasi lapangan) pada proses pengoperasian TCVY-512 oleh operator *Central Control Room* (CCR) dalam tiga kondisi yaitu ketika beban kerja (*flowrate*) bervariasi dan ketika tidak terdapat beban (*no-load*).

Adapun tahapan kerja pada pengambilan data VFD Motor TCVY-512 adalah sebagai berikut:

a. Persiapan pengoperasian
b. Pre-start pengoperasian
c. Pengoperasian
d. Monitoring dan pencatatan data pengoperasian motor TCVY-512

Perlu dipahami bahwa penggunaan beban kerja *flowrate* sebagaimana dimaksudkan dalam uji ini adalah memberikan beban tambahan beban kerja sesuai dengan kebutuhan peruntukan motor TCVY-512 yaitu untuk mengangkut muatan Batubara, dan pengukuran beban kerja yang digunakan adalah dengan mengukur *flowrate* atau laju aliran Batubara dengan satuan ton/jam. Sedangkan uji *no-load* adalah dengan tidak memberikan beban *flowrate* sama sekali, atau nilai *flowrate* = 0 ton/jam. Meskipun demikian, nilai yang terbaca pada pembacaan dan pencatatan parameter pengoperasian akan menunjukan nilai Dimana motor telah dibebani *belt conveyor* sebagai beban kerja tetap.

4.1 Pengambilan Data VFD pada Motor TCVY-512 Tanpa Beban

Data yang diambil pada saat VFD motor TCV-512 tanpa beban adalah *random sampling* dimana akan diambil 3 sample data VFD tanpa beban (*flowrate* = 0 ton/jam) saat beroperasi. Data diperoleh dengan membaca grafik parameter pengoperasian pada DCS pada *Control* room. Berdasarkan pengamatan peneliti didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data motor TCVY-512 tanpa beban

Torsi (%)			Arus Motor (A)			Arus VFD (A)			Tegangan (V)			Kecepatan (rpm)			Kecepatan feedback (rpm)		
UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3
10,4	10,5	10,7	13	13	13,2	27,8	27,8	27,8	3000	3000	3000	100%	100%	100%	99,30%	99,30%	99,30%
NO LOAD																	

4.2 Pengambilan Data VFD pada Motor TCVY-512 dengan Beban Bervariasi

Data yang diambil pada saat VFD motor TCV-512 dengan beban bervariasi adalah *random sampling* dimana akan diambil 3 sample data VFD saat beroperasi dengan rentang *flowrate* 500 – 1600 t/h. Berdasarkan pengamatan peneliti didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data motor TCVY-512 dengan beban bervariasi

Load (t/h)	Torsi (%)			Arus Motor (A)			Arus VFD (A)			Tegangan (V)			Kecepatan	Kecepatan feedback		
	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 1	UJI 2	UJI 3
500	11,8	12	11,8	13,5	13,6	13,8	28,5	28,3	28,5	3000	3000	3000	100%	99,30%	99,30%	99,30%
900	15,9	15,8	15,8	17,2	16,9	17	30,4	30,3	30,4	3000	3000	3000	100%	99,30%	99,30%	99,30%
1200	17,9	18,2	18,5	18,9	19	19	32	31,7	32,2	3000	3000	3000	100%	99,30%	99,30%	99,30%
1300	21,9	22,2	22,3	21,9	21,8	21,7	42,7	41,9	42,3	3000	3000	3000	100%	99,30%	99,30%	99,30%
1600	29,1	29,3	29	27,3	27,6	27,4	47,1	47,4	47	3000	3000	3000	100%	99,30%	99,30%	99,30%

4.3 Perhitungan Hasil Pengukuran Uji VFD

Perhitungan data hasil pengukuran dilakukan dengan menggunakan perhitungan matematis. Berdasarkan spesifikasi motor TCVY-512 sebagaimana tabel (3.1) acuan perhitungan listrik untuk beberapa parameter sesuai dengan spseifikasi motor adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Acuan perhitungan spesifikasi motor TCVY-512

NO	Spesifikasi	Nilai
1	Daya	450 kW
2	Frekuensi	50 Hz
3	Voltase	3 kV
4	Arus	109 A
5	Jumlah Pole	2 Pasang
6	Effisiensi motor	96%

a. Daya Motor

Untuk menghitung daya pada motor listrik tiga fasa diperlukan data-data berupa data arus, tegangan, dan nilai faktor daya. Data arus dan tada tegangan telah tersedia sebagaimana tercantum pada tabel (4.1-4,2), sedangkan nilai faktor daya didapatkan melalui perhitungan berdasarkan spesifikasi motor TCVY-512 yaitu **0,83**. Melalui persamaan (2.2-2.7) sebagai mana terdapat pada landasan teori diperlukan data sebagai berikut:

Tabel 4.4 Acuan pengukuran daya tanpa beban

ARUS (A)			TEGANGAN (V)		
UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III
13	13	13,2	3000	3000	3000
sin phi	0,48	NO LOAD			
cos phi	0,83				
akar 3	1,73				

Berdasarkan data hasil pengukuran pada tabel 4.2 didapatkan data pada saat beban bervariasi sebagai berikut:

Tabel 4.5 Acuan pengukuran daya dengan beban bervariasi

ARUS (A)			TEGANGAN (V)			Load
UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	(t/h)
13,5	13,6	13,8	3000	3000	3000	**500**
17,2	16,9	17	3000	3000	3000	**900**
18,9	19	19	3000	3000	3000	**1200**
21,9	21,8	21,7	3000	3000	3000	**1300**
27,3	27,6	27,4	3000	3000	3000	**1600**

Daya motor yang dilakukan perhitungan adalah daya aktif, daya semu, dan daya reaktif. Berdasarkan persamaan (2.2 s.d 2.7) didapatkan hasil perhitungan daya sebagai berikut:

i. Daya Motor TCVY-512 tanpa Beban

Untuk menghitung daya pada motor TCVY-512 tanpa beban digunakan persamaan sebagai berikut:

Daya Semu = $\sqrt{3}$**.Vl.I** (persamaan 2.3)

= $\sqrt{3}$**.** $V_{Uji\ 1\text{-}3}$**.** $I_{Uji\ 1\text{-}3}$

Daya Aktif = $\sqrt{3}$**•Vl•I•CosΦ** (persamaan 2.5)

Daya Reaktif = **3. Vn.I. SinΦ** (persamaan 2.6)

Hasil dari perhitungan daya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.6 Hasil perhitunga daya semu, daya aktif, daya reaktif

DAYA SEMU (VA)			DAYA AKTIF (Watt)			DAYA REAKTIF (VAR)		
UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III
67470	67470	68508	56000,1	56000,1	56861,64	32385,6	32385,6	32883,84
NO LOAD								

ii. Daya Motor TCVY-512 dengan Beban Bervariasi

Untuk menghitung daya pada motor TCVY-512 dengan beban bervariasi digunakan persamaan sebagai berikut:

Daya Semu = $\sqrt{3}$**.Vl.I** (persamaan 2.3)

Daya Aktif = $\sqrt{3}$**•Vl•I•CosΦ** (persamaan 2.5)

Daya Reaktif = **3. Vn.I. SinΦ** (persamaan 2.6)

Hasil perhitungan daya pada motor TCVY-512 dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 4.7 Hasil perhitungan Daya semu, daya aktif , dan daya reaktif pada beban bervariasi

Load (t/h)	DAYA SEMU (VA)			DAYA AKTIF (Watt)			DAYA REAKTIF (VAR)		
	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III
500	70065,00	70584,00	71622,00	58153,95	58584,72	59446,26	33631,20	33880,32	34378,56
900	89268,00	87711,00	88230,00	74092,44	72800,13	73230,90	42848,64	42101,28	42350,40
1200	98091,00	98610,00	98610,00	81415,53	81846,30	81846,30	47083,68	47332,80	47332,80
1300	113661,00	113142,00	112623,00	94338,63	93907,86	93477,09	54557,28	54308,16	54059,04
1600	141687,00	143244,00	142206,00	117600,21	118892,52	118030,98	68009,76	68757,12	68258,88

b. Faktor Daya Motor

Untuk mencari faktor daya, dilakukan perbandingan nilai daya semu terhadap daya aktif sebagai mana terdapat pada persamaan 2.8. Berdasarkan persamaan untuk mencari faktor daya (PF) pada persamaan (2.8), nilai Faktor daya motor TCVY-512 adalah sebagai berikut:

i. Faktor daya tanpa beban

Nilai pengukuran faktor daya tanpa beban dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.8 Hasil perhitungan faktor daya tanpa beban

DAYA SEMU (VA)			DAYA AKTIF (Watt)			FAKTOR DAYA		
UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III
67470	67470	68508	56000,1	56000,1	56861,64	0,83	0,83	0,83
NO LOAD								

ii. Faktor daya dengan beban bervariasi

Hasil pengukuran faktor daya pada beban variasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil peritungan faktor daya dengan beban bervariasi

Load (t/h)	DAYA SEMU (VA)			DAYA AKTIF (Watt)			FAKTOR DAYA		
	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III
500	70065	70584	71622	58153,95	58584,72	59446,26	0,83	0,83	0,83
900	89268	87711	88230	74092,44	72800,13	73230,9	0,83	0,83	0,83
1200	98091	98610	98610	81415,53	81846,3	81846,3	0,83	0,83	0,83
1300	113661	113142	112623	94338,63	93907,86	93477,09	0,83	0,83	0,83
1600	141687	143244	142206	117600,21	118892,52	118030,98	0,83	0,83	0,83

c. Rugi-rugi Daya Motor

i. Rugi daya sesuai spesifikasi motor (*total losses*)

Berdasarkan data pada tabel 4.3 nilai rugi daya (P *losses*) total dapat dihitung sebagai berikut:

Nilai diketahui: P out = 450 kW

η (effisiensi) = 96% = 0,96

Cos phi = 0,83

Maka, $= \mathbf{P_{in}} = \frac{\mathbf{Pout}}{\boldsymbol{\eta}}$

$= \frac{450000\ Watt}{0{,}96} = 468750$ W

$\mathbf{P_{losses}} = \mathbf{(P_{in}-P_{out})}$

$\mathbf{P_{losses}} = (468750 - 450000)$

$= \mathbf{18750\ Watt}$

Berdasarkan perhitungan tersebut diketahui nilai kerugian total adalah 18,75 kW. Kerugian ini merupakan kerugian daya total (*total* losses) pada motor sesuai spesifikasi yang meliputi: kerugian tembaga (P_{cu}) pada belitan stator dan rotor, kerugian inti besi, dan kerugian mekanis. Untuk menghitung rugi daya menggunakan persamaan

$$\mathbf{P_{losses}} = \mathbf{(P_{in}-P_{out})}$$

Dimana, P_{in} = daya Aktif

P_{out} = daya mekanik

Dengan diketahui nilai daya mekanis (P out) sebagaimana tercantum dalam tabel spesifikasi motor (4.3) yaitu sebesar 450 kWatt, sedangkan untuk menghitung daya mekanis (P out) aktual pada saat motor diberikan beban maka digunakan persamaan dimana diperlukan nilai kecepatan sudut putaran motor, kecepatan putaran motor, dan torsi. Berikut data perhitungan terkait parameter yang digunakan untuk mengetahui nilai daya mekanis (P_{out}) motor TCVY-512 saat dioperasikan:

$$\mathbf{P_{out}} \text{ data ke n} = T.\ \omega$$

$$\mathbf{P_{out}} \text{ data ke n} = (\text{data n\% x Torsi 100\%}).2\pi.\ Ns/60$$

$$\mathbf{P_{out}} \text{data ke n} = (\text{data n\% x 3840,76 Nm}).\ 2\pi.1500rpm/60$$

Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan hasil hitung daya mekanik (Pout) sebagai berikut:

Tabel 4.10 Daya mekanik (Pout)

Load (t/h)	Torsi (Nm)			Torsi hasil uji (%)			Kecepatan aktual (99,3%)	FREKUENSI (Hz)	K. SUDUT (rad/s)	DAYA OUT/Mech (Watt)		
	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3				UJI I	UJI II	UJI III
500	340,60	346,38	340,60	11,8	12	11,8	1489,5	50	155,9	53100	54000	53100
900	458,95	456,06	456,06	15,9	15,8	15,8				71550	71100	71100
1200	516,68	525,34	534,00	17,9	18,2	18,5				80550	81900	83250
1300	632,14	640,80	643,68	21,9	22,2	22,3				98550	99900	100350
1600	839,96	845,73	837,08	29,1	29,3	29				130950	131850	130500
NOTE: PARAMETER UKUR					digunakan persamaan mencari torsi dan kecepatan standar berdasarkan data spesifikasi 450kW, dan speed 1500 rpm							
kec sudut (1500 rpm)			157	rad/s								
torsi spesifikasi (100%)			2886,47	Nm								

Setelah daya output diketahui nilai rugi daya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\mathbf{P_{losses} = P_{in} - P_{out}}$$

Dimana daya masukan yang digunakan (P in) merupakan daya semu dan P out merupakan daya mekanik (P Mech).

ii. Rugi daya tanpa beban (*fixed losses* + *total losses*)

Hasil perhitungan rugi daya dari ketiga uji ketika tidak terdapat beban dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.11 Hasil hitung rugi daya tanpa beban

DAYA SEMU (VA)			DAYA OUT/Mekanik(Watt)			RUGI DAYA (Watt)			Rata-rata
UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	
67470	67470	68508	47130,212	47583,387	48489,737	20339,788	19886,61	20018,26	20081,55
NO LOAD									

Berdasarkan data pada tabel nilai rugi daya tanpa beban menunjukan nilai rata-rata 20.081,55 Watt. Nilai ini merupakan rugi daya total antara rugi tetap yang terdapat pada motor dan rugi daya variabel yang meliputi rugi daya akibat gesekan, rugi mekanik, dan rugi magnetic ketika tidak diberikan beban *flowrate*. Pada hakikatnya nilai rugi tanpa beban ini tetap menunjukan rugi tambahan pada motor mengingat kondisi Dimana motor dihubungkan untuk menjalankan perangkat *belt conveyor* yang tentunya telah memberikan tambahan beban tetap sejalan dengan usaha untuk menggerakan *belt conveyor* meskipun dalam kondisi tidak membawa beban kerja *flowrate*.

iii. Rugi daya dengan beban bervariasi

Hasil perhitungan rugi daya dari ketiga uji ketika pada beban bervariasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.12 Hasil hitung rugi daya dengan beban

Load (t/h)	DAYA IN / SEMU (VA)			DAYA OUT/Mekanik(Watt)			RUGI DAYA (Watt)			
	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	Rata-rata
500	70065	70584	71622	53100	54000	53100	16965	16584	18522	17357,00
900	89268	87711	88230	71550	71100	71100	17718	16611	17130	17153,00
1200	98091	98610	98610	80550	81900	83250	17541	16710	15360	16537,00
1300	113661	113142	112623	98550	99900	100350	15111	13242	12273	13542,00
1600	141687	143244	142206	130950	131850	130500	10737	11394	11706	11279,00

d. Efisiensi

Untuk menentukan nilai efisiensi daya adalah dengan membandingkan nilai daya in (daya aktif) terhadap daya out (daya mekanik) sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\text{Pout}}{\text{Pin}} \text{ x } 100\%$$

$$\eta = \frac{\text{daya mekanik (Watt)}}{\text{daya aktif (VA)}} \text{ x } 100\%$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut perhitungan efisiensi daya tanpa beban dan beban bervariasi meliputi:

i. Efisiensi tanpa beban

Berdasarkan data pada spesifikasi dimana Pout 603kWatt, dan kecepatan putar 3000 rpm, diperoleh data acuan perihtungan efisiensi tanpa beban sebagai berikut:

Tabel 4.13 Parameter ukur tanpa beban

Torsi (%)			Torsi (Nm)			SPEED (99,3%) (rpm)	FREKUENSI (Hz)	K. SUDUT (rad/s)	DAYA OUT/Mech (Watt)		
UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3				UJI I	UJI II	UJI III
10,4	10,5	10,7	300,192	303,079	308,852	1489,5	50	157	47130,2	47583,39	48489,74
NOTE: PARAMETER UKUR					digunakan persamaan mencari torsi dan kecepatan standar berdasarkan data spesifikasi Pout 450kW, dan speed 1500 rpm						
kec sudut (1500 rpm)			157	rad/s							
torsi spesifikasi (100%)			2886,47	Nm							

Berdasarkan tabel acuan dan data hasil pengukuran daya didapatkan nilai efisiensi daya motor TCVY-512 sebagai berikut:

Tabel 4.14 Hasil perhitungan efisiensi daya tanpa beban

DAYA OUT/Mech (Watt)			DAYA IN/SEMU (VA)			EFISIENSI DAYA (%)			Rata-rata
UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	
47130,21	47583,387	48489,737	67470	67470	68508	69,853582	70,52525	70,77967	70,39
NO LOAD									

ii. Efisiensi dengan beban bervariasi

Dengan menggunakan tabel acuan beban output (P mekanik), untuk mencari nilai efisiensi data ke-*n* dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta \text{ data ke-}n = \frac{Pout}{Pin} \times 100\%$$

$$\eta \text{ data ke-}n = \frac{\text{daya mekanik data ke}-n\ (\text{Watt})}{\text{daya aktif data ke}-n\ (\text{VA})} \times 100\%$$

Nilai efisiensi daya pada motor TCVY-512 untuk beban bervariasi adalah sebagaimana persamaan diatas adalah:

Tabel 4.15 Hasil perhitungan efisiensi daya dengan beban bervariasi

Load (t/h)	DAYA OUT/Mech (Watt)			DAYA IN/SEMU (VA)			EFISIENSI DAYA (%)			
	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	UJI I	UJI II	UJI III	Rata-rata
500	53100	54000	53100	70065	70584	71622	75,79	76,50	74,14	75,48
900	71550	71100	71100	89268	87711	88230	80,15	81,06	80,58	80,60
1200	80550	81900	83250	98091	98610	98610	82,12	83,05	84,42	83,20
1300	98550	99900	100350	113661	113142	112623	86,71	88,30	89,10	88,03
1600	130950	131850	130500	141687	143244	142206	92,42	92,05	91,77	92,08

4.4 Analisa Hasil Pengukuran

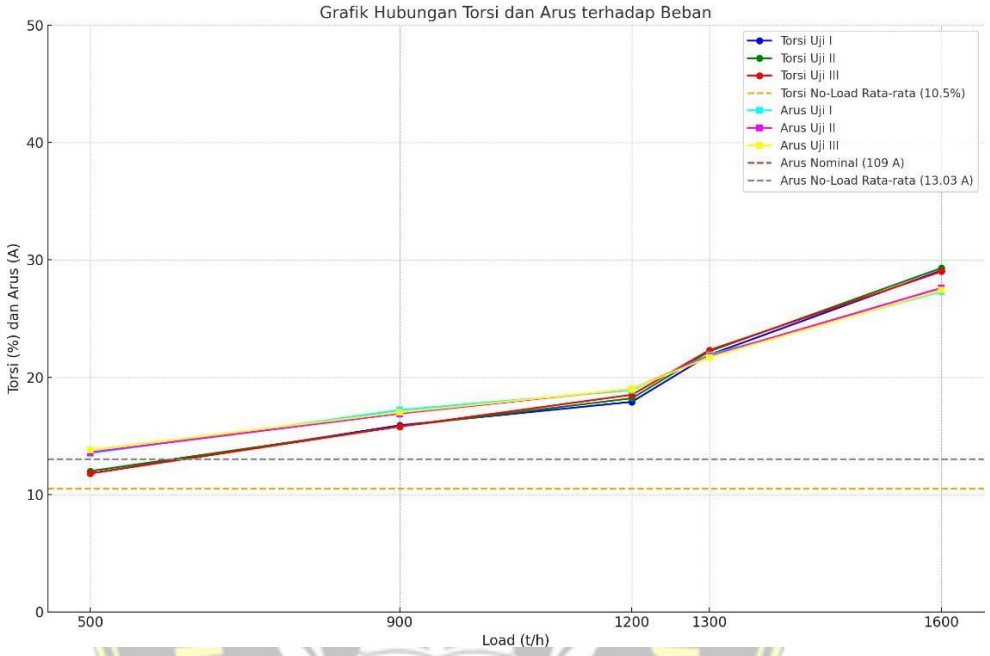
a. Analisa Torsi-Arus

Berdasarkan data hasil uji sebagaimana terdapat pada tabel 4.2 dapat diketahui nilai torsi dan arus pada beban bervariasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.16 Nilai Torsi dan arus motor TCVY-512 pada beban bervariasi

Load (t/h)	Torsi (%)			Arus Motor (A)		
	UJI 1	UJI 2	UJI 3	UJI 1	UJI 2	UJI 3
500	11,8	12	11,8	13,5	13,6	13,8
900	15,9	15,8	15,8	17,2	16,9	17
1200	17,9	18,2	18,5	18,9	19	19
1300	21,9	22,2	22,3	21,9	21,8	21,7
1600	29,1	29,3	29	27,3	27,6	27,4

Dari tabel diatas dapat kita ketahui hubungan antara torsi arus dalam beban bervariasi sebagai berikut:



Gambar 4.1 Hubungan torsi arus terhadap beban kerja TCVY-512

Berdasarkan grafik diatas dapat dipahami bahwa kenaikan nilai beban berupa *flowrate* pada motor TCVY-512 berbanding lurus dengan kenaikan nilai torsi dan nilai arus motor. Hal ini disebabkan oleh peningkatan usaha yang harus dilakukan motor untuk menopang beban yang lebih berat. Kenaikan torsi dan arus ini secara linear terjadi pada ketiga data uji yang dilakukan baik dari Uji I,Uji II maupun Uji III, dimana peningkatan secara signifikan terjadi ketika beban kerja *flowrate* pada 1200 ton/jam, dan kenaikan torsi dan arus mencapai titik tertinggi berdasarkan data terjadi ketika beban kerja *flowrate* 1600 ton/jam. Sedangkan ketika kondisi motor dalam keadaan tidak diberikan beban (*no-load*) nilai arus dan torsi motor cenderung stabil pada kisaran 13,03 Ampere untuk arus dan 10,5% untuk nilai Torsi

Berdasarkan grafik diatas juga dapat diketahui bahwa kenaikan nilai torsi yang berbanding lurus dengan load relatif masih sesuai dengan spesifikasi sebagaimana terdapat pada O&M book PT Bhumi Jepara Services. Penggunaan VFD sebagai penyetabil tegangan melalui pengaturan frekuensi memberikan dampak yang efektif sehingga tidak terjadi lonjakan torsi maupun arus yang dapat berdampak pada kerusakan peralatan. Peran VFD dalam menjaga kestabilan tegangan pada kisaran 3000 Volt menjadi penting mengingat fluktuatifnya beban kerja sehingga kondisi motor TCVY-512 tetap terjaga kehandalannya.

Dari data juga dapat dipahami bahwa kenaikan arus dan torsi motor TCVY-512 masih relatif kecil dari arus nominal maupun torsi maksimal sesuai dengan desain spesifikasi motor. Hal ini dimungkinkan terjadi karena VFD menjaga kestabilan putaran motor konstan pada kecepatan 1489 rpm (99,3% kecepatan motor) dengan cara pengaturan frekuensi. Dengan kecepatan yang konstan usaha yang harus dilakukan motor ketika telah mencapai kecepatan optimal menjadi hanya bergantung pada kenaikan *flowrate* dan tidak lagi dipengaruhi oleh usaha untuk melakukan perubahan kecepatan putaran motor.

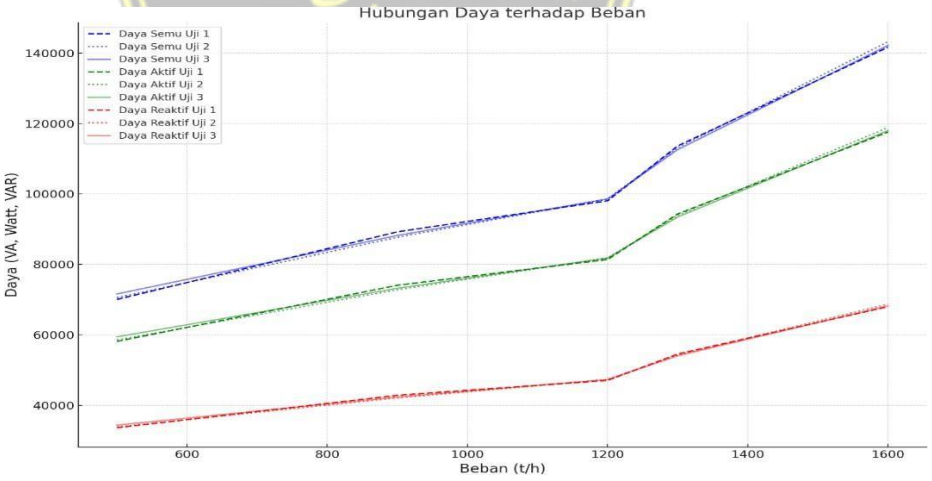
Berdasarkan uraian diatas, penggunaan *variable Frequency Drive* (VFD) pada motor TCVY-512 efektif menjaga kestabilan kecepatan putaran motor yang lebih lanjut berdampak pada kestabilan kenaikan arus-torsi terhadap beban secara linear. Kenaikan arus yang lebih stabil ini akan memberikan dampak positif bagi terjaganya performa motor tetap optimal, menjaga keawetan motor, serta mengurangi nilai arus berlebih yang dapat menimbulkan rugi baik secara biaya operasional, maupun pemeliharaan.

b. Analisa Daya dan Faktor Daya Motor pada Beban Bervariasi dan Tanpa Beban

Daya motor yang ditunjukan pada tabel 4.7 dan 4.8 memberikan gambaran kondisi peralatan motor TCVY-512 secara menyeluruh berkaitan dengan daya yang digunakan, daya yang hilang maupun daya semu atau daya input pada motor. Pada tabel dapat diketahui bahwa nilai daya semu ketika tidak diberikan beban (*no-load*) cenderung stabil pada kisaran 67 kW dan daya aktif atau daya nyata yang digunakan yaitu pada kisaran 56 kVA, sedangkan untuk daya reaktif adalah pada kisaran 32 kVAR.

Hasil-hasil perhitungan ini secara matematis telah sesuai dengan nilai faktor daya (PF) pada spesifikasi motor yaitu 0,83. Perbandingan antara daya keluaran (P output) terhadap daya masukan (P input) yang dalam hal ini adalah daya aktif dibandingkan daya semu menunjukan nilai 0,83 sebagaimana terdapat pada tabel nilai faktor daya (tabel 4.9).

Pada hasil perhitungan untuk daya dengan beban bervariasi, daya semu, daya aktif, dan daya reaktif juga menunjukan nilai yang telah sesuai. Berdasarkan tabel, nilai ketiga daya berbanding lurus dengan nilai kenaikan beban *flowrate*. Ini berarti semakin tinggi nilai beban kerja yang diberikan, semakin besar pula nilai daya yang terbaca. Secara lebih jelas hubungan antara ketiga daya terhadap nilai beban dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4.2 Hubungan nilai daya terhadap beban

Dari grafik diatas dapat dipahami bahwa nilai daya semu, daya aktif, dan daya reaktif linear terhadap perubahan beban kerja *flowrate* yang diberikan. Pada daya semu menunjukan nilai 70-143 kW untuk ketiga uji pada beban 500-1600 ton/jam. Sedangkan pada daya aktif nilai daya menunjukan kenaikan pada kisaran 58-118kW, serta pada daya reaktif menunjukan kenaikan pada kisaran 33-68kW. Kenaikan daya yang linear terhadap beban ini membuktikan bahwa semakin besar beban kerja yang diberika maka semakin besar pula daya yang diperlukan oleh motor untuk menopang beban kerja. Peningkatan beban secara langsung akan mengakibatkan peningkatan daya nyata (daya output) karena semakin banyak daya yang diubah menjadi daya mekanik utuk menggerakan rotor, selanjutnya kenaikan pun terjadi pada daya masukan (daya semu).

Berdasarkan data faktor daya (PF) pada tabel 4.10 menunjukan kenaikan daya aktif dibandingkan daya semu masih pada konsisteni 0,83. Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan beban tidak memberikan dampak pada perbandingan faktor daya secara menyeluruh. Angka faktor daya yang konsisten pada angka sesuai spesifikasi 0,83 menunjukan bahwa motor masih dalam kondisi optimal karena terjaganya rasio daya hilang dan daya yang digunakan. Dalam hal ini, peran *Variable Frequency Drive* (VFD) besar dalam mengatur kestabilan nilai tegangan dan kestabilan kenaikan arus melalui pengaturan frekuensi listrik. Pengaturan VFD sebagai pengatur kecepatan motor TCVY-512 pada kecepatan konstan memberikan kestabilan pada arus-tegangan sehingga nilai daya dapat terjaga dan motor menjadi lebih efisien, optimalisasi performa yang terjaga, dan menghindari rugi daya yang tidak diperlukan.

c. Analisa Rugi-Rugi Daya Motor

Secara umum, rugi daya pada motor listrik tidak dapat dihindarkan meskipun motor tersebut memiliki nilai efisiensi yang tinggi. Hal ini dikarenakan penggunaan kumparan dan gaya elektromagnet secara

langsung akan menimbulkan rugi tegangan dan rugi arus akibat adanya energi yang hilang dan digunakan menjadi energi panas. Pada penelitian ini, nilai rugi daya motor TCVY-512 menunjukan hal yang serupa. Berdasarkan tabel rugi daya terhadap beban (tabel 4.12) menunjukan bahwa nilai rugi daya rata-rata pada saat motor tidak diberikan beban adalah pada kisaran 20 kW. Artinya, motor tetap mengalami rugi daya meskipun tidak diberikan beban. Hal ini dikarenakan beberapa faktor sebagai berikut:

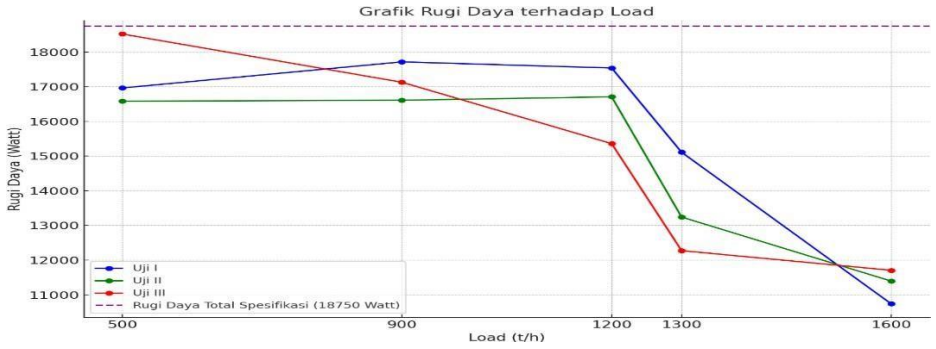
1. Rugi tetap (*fixed losses*)

   rugi tetap pada saat motor dioperasikan meliputi rugi inti besi (magnetik), dan rugi friksi atau gesekan

2. Rugi variabel (*variable losses*)

   rugi ini meliputi rugi tembaga, rugi arus dan panas yang bergantung pada nilai arus dan tegangan pada motor.

Ketika beban kerja *flowfrate* diberikan, nilai rugi daya akan mengalami perubahan secara bertahap. Pada tabel 4.12 yang menyatakan hubungan rugi daya terhadap nilai load menunjukan bahwa semakin besar beban kerja yang diberikan nilai rugi daya semakin menurun. Pada tabel dapat diketahui bahwa untuk kenaikan beban kerja *flowrate* 500-1600 ton/jam, nilai rugi daya menurun pada kisaran 18-10 kW. Secara lebih jelas berdasarkan tabel 4.12, dapat diketahui nilai rugi daya pada beban bervariasi untuk uji 1, uji 2 dan uji 3 terhadap kenaikan beban pada grafik sebagai berikut:



Gambar 4.3 Hubungan Rugi daya terhadap beban

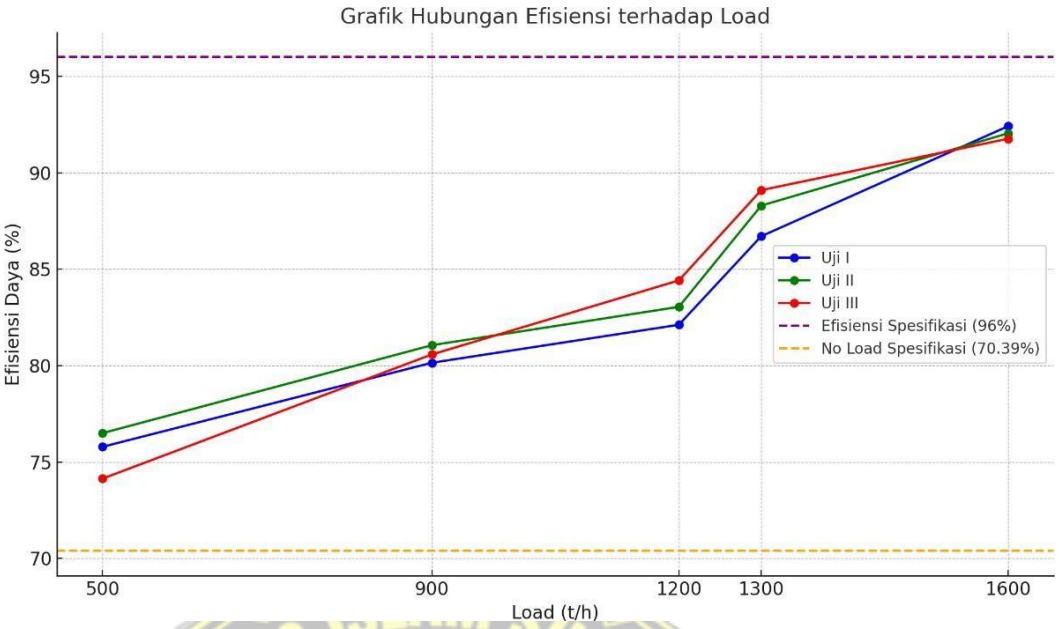
Dari grafik dapat dipahami bahwa nilai rugi daya berbanding terbalik terhadap beban *flowrate*, Dimana semakin besar nilai beban yang diberikan nilai rugi daya semakin menurun. Hal ini sesuai dengan karakterisitik motor listrik dimana ketika beban kerja semakin meningkat mendekati beban optimal nilai rugi daya cenderung akan menurun karena semakin tingginya nilai daya yang digunakan sebagai daya mekanik untuk menggerakan motor. Meskipun demikian nilai rugi daya akan cenderung meningkat ketika beban kerja melebihi beban kerja optimal sesuai desain spesifikasi.

Pada motor TCVY-512 kondisi serupa juga terjadi, dimana beban optimal sesuai desain adalah 1700 ton/jam, dan data pada grafik menunjukan penurunan nilai rugi daya secara konsisten hingga mendekati beban optimal yaitu 1700 ton/jam. Namun, karena keterbatasan data dimana kondisi *conveyor* TCVY-512 saat ini tidak memungkinkan untuk penggunaan beban optimal 1700 ton/jam, peneliti tidak dapat melakukan pengukuran dimana beban kerja melebihi beban optimal 1700 ton/jam.

d. Analisa Efisiensi Motor

Berdasarkan tabel 4.15 dapat diketahui bahwa nilai efisiensi motor cenderung naik ketika beban yang diberikan juga naik. Kenaikan efisiensi ini berada pada kisaran 75-93% untuk kenaikan beban kerja *flowrate* 500-1600 ton/jam. Sedangkan ketika tidak terdapat beban (tabel 4.14), nilai efisiensi cenderung konstan pada ketiga uji yaitu pada kisaran 70%.

Lebih lanjut, hubungan antara efisiensi daya terhadap beban pada motor TCVY-512 sebagai berikut:



Gambar 4.4 Grafik hubungan efisiensi daya terhadap kenaikan beban pada motor TCVY-512

Pada grafik tersebut menunjukan kecenderungan kenaikan efisiensi daya motor terhadap beban kerja mengindikasikan bahwa semakin mendekati nilai optimal beban kerja motor TCVY-512 pada beban 1700ton/ jam, maka semakin mendekati efisiensi optimal motor yaitu pada angka 96%. Kenaikan efisiensi ini terjadi karena dengan bertambahnya beban nilai rasio daya input outpu tetap, sehingga motor semakin efisien dalam menggunakan daya listrik menjadi daya mekanik putaran motor.

Kondisi dimana motor TCVY-512 ini mengalami kenaikan efisiensi mendekati efisiensi standar 96% pada saat beban optimal mengindikasikan bahwa motor masih dalam kondisi yang cukup baik. Penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) pada motor TCVY-512 meberikan dampak yang efektif dalam menjaga kestabilan torsi-arus dan tegangan sehingga rasio daya input-output terjaa dan efisiensi meningkat mendekati efisiensi optimal pada beban kerja optimal 1700 ton/jam.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian data dan Analisa hasil uji serta hasil pengukuran pada motor TCVY-512, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) memberikan pengaruh yang cukup signifikan dalam menjaga kestabilan arus dan tegangan pada motor TCVY-512 yaitu dengan pengaturan frekuensi sehingga kecepatan putaran motor tetap konstan pada 1489 rpm atau 99,3% kecepatan putaran nominal motor. Kecepatan dan tegangan yang konstan memberikan pengaruh positif terhadap kestabilan parameter lain seperti torsi, daya. faktor daya, rugi daya, dan efisiensi tetap pada spesifikasinya dan menjaga kondisi motor tetap dalam performa yang handal dan optimal.
2. Penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) pada motor TCVY-512 saat tidak terdapat beban (*no-load*) memberikan dampak yang baik dalam menjaga kestabilan parameter-parameter pengukuran listrik terhadap kinerja motor secara keseluruhan. Hal ini dapat dilihat pada pembacaan torsi-arus, daya, faktor daya dan rugi serta efisiensi daya yang masih sesuai dengan perhitungan awal sesuai dengan spesifikasi pada beban nol.
3. Penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) pada motor TCVY-512 dengan beban yang bervariasi berkisar antara 500-1600 ton / jam mampu menjaga kestabilan kenaikan torsi-arus, daya, rugi daya, dan efisiensi tetap baik. Hal ini terlihat pada kenaikan torsi arus yang berbanding lurus dengan kenaikan beban kerja. Kenaikan daya semu, daya aktif dan daya reaktif yang berbanding lurus dengan kenaikan beban *flowrate*, sedangkan untuk nilai rugi daya dan efisiensi yang berbanding terbalik sehingga kian menurun seiring dengan kenaikan beban *flowrate* hingga mendekati nilai beban *flowrate* optimal sesuai spesifikasi 1700 ton/ jam.

5.2 Saran

Saran yag dapat diberikan berdasarkan hasil dan Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Penelitian ini perlu menjadi landasan berpikir dan kerangka acuan bagi perusahaan dan pihak-pihak terkait sebagai kajian ilmiah penggunaan VFD sebagai pencatu pada motor TCVY-512 di PLTU Tanjung Jati B Jepara.
b. Dalam pengoperasian peralatan, pihak-pihak terkait perlu senantiasa memonitoring parameter operasi serta menjaga kondisi peralatan-peralatan pengoperasian motor TCVY-512 terutama pada *Variable Frequency Drive* (VFD) tetap dalam kondisi yang aman dan sesuai dengan batasan-batasan Standar Operasi Peralatan (SOP).
c. Perlu dilakukannya pemeliharaan dan pengecekan berkala bagi peralatan VFD pada motor TCVY-512 sehingga performa yang diberikan selalu dalam kondisi optimal sesuai dengan spesifikasi tanpa adanya penurunan kinerja.
d. Dalam pengoperasian motor TCVY-512 pelaksana tugas lapangan harus senantiasa menjaga agar beban kerja yang diberikan sesuai dengan spesifikasi dan tidak memberikan beban kerja berlebih karena dapat berdampak pada kerusakan peralatan dan menurunya performa kerja.

UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

DAFTAR PUSTAKA

[1] Surianto, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa Menggunakan Frequency Converter Lenze 8400 Berbasis PLC Siemens Simatic S7-300 Disusun," vol. 2507, no. February, pp. 1–9, 2020.

[2] I. M. P. Nyoman Bagia, *Motor-Motor Listrik*, no. March. Kupang: CV. Rashi Terbit, 2018.

[3] P. Raflesia and V. S. Drive, "Analisis Perubahan Beban Terhadap arus Listrik Pada Motor Induksi 3 Fasa dengan Kendali VSD di Laboratorium Center Of Excellence SMK Negeri 1 Rejang Lebong SMKN 1 Rejang Lebong , 2 Politeknik Raflesia , 3 Politeknik Raflesia," *Jurnal Teknik Elektro Raflesia*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2022, [Online]. Available: http://ejournal.polraf.ac.id/index.php/JTERAF/article/view/132%0Ahttp://ejournal.polraf.ac.id/index.php/JTERAF/article/download/132/149

[5] M. M. Aswad Alfian, A. Fitriati, S. Mustafa, and P. Studi Teknik Listrik Politeknik Bosowa, "Pengaruh Perubahan Frekuensi Dalam Sistem Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Variable Frequency Drive (Vfd) Terhadap Arus Kumparan Motor," *Journal Of Electrical Engginering (Joule)*, vol. 4, no. 2, pp. 43–49, 2023.

[6] Soleh Uddin, D. Alia, and D. Suharso, "Monitoring and Control of a Variable Frequency Drive Using Plc and Scada," *Jurnal 7 Samudra*, vol. 8, no. 2, pp. 1065–1071, 2023, doi: 10.54992/7samudra.v8i2.119.

[7] Tamboenman, "Apa Itu Motor Induksi?" Accessed: Nov. 27, 2024. [Online]. Available: (https://www.tamboenman.xyz/2022/04/konstruksi-motor-induksi.html)

[8] R. B. Wibowo, "Perancangan Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Variable Frequencydrives Menggunakan Kendali Pid Berbasis Plc," p. 2022, 2022.

[9] D. lestyono, "Analisis Penambahan Adjustable Diverter Gate pada Chute 507 Terhadap kendala proses pengisian Coal Silo di PLTU Tanjung Jati B unit 5 dan 6 Jepara" 2024.

[10] Gomgom and I. Effendi, "Penerapan Variable Frequency Drive Pada Motor Fuel Screw Feeder Untuk Bahan Bakar Pada Sistem Boiler," *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 2, no. 1, pp. 50–59, 2019

[11] E. P. C. L. O. T. Sub-contractor, "TJB56-L3-OFF-C-00-G-MAN-0004_General Description For Coal Handling System," pp. 0–13, 2022.

[12] R. D. Puriyanto and P. A. Rosyady, *Dasar-Dasar Pengukuran Besaran Listrik*. Yogryakarta: UAD Press, 2021.

[13] J. Jamaaluddin, I. Anshory, I. Sulistiyowati, and A. Ahfas, *Buku Ajar Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, 1st ed. Sidoarjo: UMSIDA PRESS, 2022. doi: 10.21070/2022/978-623-464-054-0.

[14] P. Mangera and D. Hardiantono, "Analisis Rugi Tegangan Jaringan," *Jurnal MJEME*, vol. 1, no. 2, pp. 61–69, 2019.

[15] T. K. H. Muhammad Hasan *et al.*, *Metode penelitian kualitatif*. 2023.

[16] E. P. C. L. O. T. Sub-contractor, "TJB56-L3-OFF-C-00-G-MAN-0004_General Description For Coal Handling," pp. 0–13, 2022.

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية